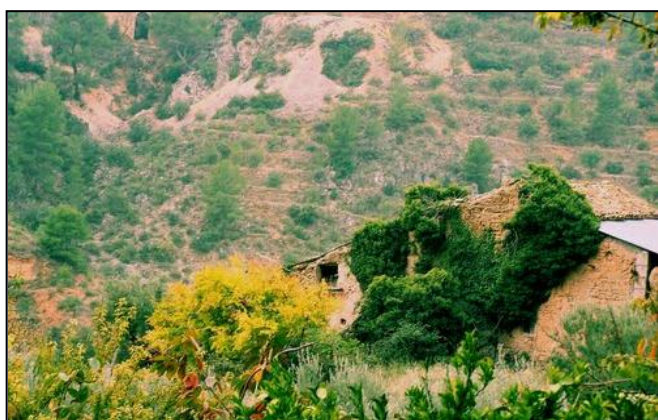




# **RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MUNDO**

---

**África Dumas Salazar**



Tutora: María Eugenia Pérez González

**Trabajo de fin de Máster**

Noviembre 2012

**Máster en Tecnologías de la Información Geográfica**

# ÍNDICE

---

**Resumen:** Página 4

**I. INTRODUCCIÓN:** Página 5

**II. CONTEXTO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN.**

1. ¿Qué es la erosión del suelo? : Página 6.
2. Mecanismos y factores de la erosión. : Páginas 5 y 6.
3. Efectos de la erosión e importancia de su estudio: Página 7.
4. Toma de conciencia: Páginas 7 y 8.
5. Modelos matemáticos para estimar la erosión: Páginas 8 y 9.

**III. LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO (USLE).**

1. Factor erosividad de la lluvia: Página 11
2. Factor erodabilidad del suelo : Páginas 12 y 13
3. Factor topográfico: Página 13
4. Factor cobertura del suelo: Página 14
5. Factor prácticas de conservación del suelo : Página 14
- \* Evolución y críticas al modelo: Páginas 14 y 15

**IV. EL PAPEL DE LOS SIG EN LOS ESTUDIOS DE EROSIÓN : Página 15**

**V. ZONA DE ESTUDIO.**

1. Localización: Página 16
2. Relieve: Página 16
3. Climatología : Página 16
4. Hidrología: Página 17
5. Edafología: Página 17
6. Vegetación: Página 19
7. Figuras de protección: Páginas 19 y 20
8. Población: Página 20

**VI. MATERIAL Y MÉTODOS**

1. Cartografía digital utilizada: Página 21
2. Metodología. Página 22

- 2.1 Cálculo factor R: Página 22 y 23
- 2.2 Cálculo factor K: Página 24
- 2.3 Cálculo factor LS. Páginas 25, 26 y 27
- 2.4 Cálculo factor C: Página 27 , 28 y 29
- 2.5 Cálculo factor P: Página 29

3. Cartografía de los estados erosivos de la cuenca.

- 3.1 Cartografía de los niveles erosivos. Páginas 29 y 30.
- 3.2 Cartografía y estudio de usos en las zonas potencialmente desfavorecidas. Página 30
- 3.3 Cartografía de cambios entre 2000-2006. Página 30.

## **VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

- 1. Erosión potencial. Páginas 31, 33 y 34.
- 2. Erosión año 2000. Páginas 35 y 37.
- 3. Erosión año 2006. Páginas 38 y 40.
- 4. Comparación erosión real (2000 – 2006) y potencial. Páginas 41 y 43.

## **VIII. CONCLUSIONES. Páginas 44 y 45.**

**Bibliografía: Páginas 46, 47 y 48.**

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

---

- **Figura 1:** Cuadro Modelos de erosión. Página 10.
- **Figura 2:** Nomograma de erodabilidad. Página 13
- **Figura 3:** Mapa localización zona de estudio. Página 18
- **Figura 4:** Mapa de figuras de protección. Página 20
- **Figura 5:** Esquema metodológico aplicación USLE. Página 22
- **Figura 6:** Tabla de estaciones meteorológicas utilizadas. Página 23
- **Figura 7:** Mapa erosividad de la lluvia (Factor R).Página 23
- **Figura 8:**Tabla tipos de suelo y erodabilidad (Factor K).Página 24
- **Figura 9:** Mapa erodabilidad del suelo (Factor K). Página 24
- **Figura 10:** Mapa de inclinación de las pendientes en grados. Página 25
- **Figura 11:** Mapa de inclinación de las pendientes (Subfactor S).Página 26
- **Figura 12:** Mapa longitud e inclinación de pendientes (Factor LS). Página 27
- **Figura 13:** Tabla de valores factor cobertura (factor C). Página 28
- **Figura 14:** Mapa valores del Factor C según cobertura y uso del suelo. Página 29
- **Figura 15:** Gráfico porcentaje de niveles erosivos para erosión potencial. Página 31
- **Figura 16:** Mapa Niveles de erosión potencial. Página 32.
- **Figura 17:** Mapa zonas potencialmente desfavorecidas frente a la erosión. Página 33
- **Figura 18:** Usos del suelo sobre zonas potencialmente desfavorecidas 2000 y 2006. Página 34
- **Figura 19:** Gráfico superficie según estados erosivos año 2000.Página 35
- **Figura 20:** Mapa de estados erosivos año 2000. Página 36
- **Figura 21:** Mapa de zonas más erosionadas año 2000. Página 37
- **Figura 22:** Gráfico usos del suelo sobre zonas más erosionadas año 2000. Página 37
- **Figura 23:** Gráfico niveles erosivos año 2000. Página 38
- **Figura 24:** Mapa de estados erosivos año 2006. Página 39
- **Figura 25:** Mapa zonas más erosionadas año 2006. Página 40.
- **Figura 26:** Gráfico usos del suelo sobre zonas más erosionadas año 2006. Página 40
- **Figura 27:** Tabla cambios superficie erosión hídrica años 2000 y 2006. Página 41
- **Figura 28:** Mapa de cambios en la erosión entre 2000 y 2006. Página 42
- **Figura 29:** Gráfico cambios de usos del suelo en las zonas más erosionadas. Página 43
- **Figura 30:** Gráfico diferencias erosión 2000, 2006 y potencial por niveles erosivos. Página 43

---

## RESUMEN

---

La pérdida de suelo por erosión hídrica supone en la actualidad un grave problema medioambiental a nivel global ya que contribuye intensamente a la pérdida de productividad y biodiversidad de los suelos en todo el planeta.

Los territorios del sudeste español debido al relieve, climatología y suelos poco evolucionados que presentan se ven en su mayoría muy afectados por este proceso.

En el presente estudio se analiza mediante la implementación de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en un SIG los niveles de erosión potencial de la Cuenca hidrográfica del río Mundo (Albacete), así como su erosión real en los años 2000 y 2006 para poder observar su evolución.

Se generó una capa raster para cada factor de la USLE y se realizó una multiplicación de las capas dando como resultado un mapa de niveles erosivos para cada escenario.

Se analizaron los usos del suelo presentes en las áreas más afectadas así como los cambios entre las dos fechas comparadas.

Los resultados obtenidos muestran que aunque la erosión potencial de la zona es muy intensa, la buena cobertura de vegetación existente hace que la erosión real únicamente sea importante en algunas áreas restringidas de la cuenca, en las cuales debería de realizarse alguna estrategia para la conservación de suelos y vigilar la evolución de los usos del suelo con el fin de eliminar tasas de erosión intolerables que podrían poner en peligro los embalses existentes así como la productividad del terreno.

## I. INTRODUCCIÓN

---

El suelo es un recurso no renovable que sirve como soporte de una gran cantidad de actividades productivas esenciales para el hombre, lo que hace que exista un estrecho vínculo de dependencia entre ambos.

Existen diversos factores de degradación de los suelos que pueden poner en peligro la sostenibilidad de esta relación. Entre ellos cabe destacar la erosión del suelo, que constituye al mismo tiempo uno de los problemas medioambientales globales más importantes (Pimentel, D. et al., 1995).

La erosión del suelo es un daño que tradicionalmente se ha asociado a la agricultura en zonas tropicales o semiáridas, y es importante por sus efectos a largo plazo sobre la productividad y sostenibilidad agrícola. Pero es sin embargo un problema que presenta mayor significación al afectar además a las tierras forestales, al transporte y áreas de esparcimiento (Morgan, 1996)

España, junto con otros países de la región mediterránea ,está considerada como el área más susceptible de Europa en cuanto a riesgo de erosión del suelo se refiere, debido en gran medida a la climatología que presenta: largos periodos secos seguidos por tormentas de gran intensidad.

Debido al desequilibrio que presentan estas zonas entre la tasa de formación y pérdida del suelo y a las pérdidas económicas que este fenómeno conlleva, durante las últimas décadas se han impulsado numerosas estrategias y programas de prevención de la erosión con el fin de asegurar un uso sostenible del suelo.

Es en este ámbito donde la cartografía de riesgos de erosión del suelo se está convirtiendo cada vez más en una necesidad a la hora de realizar una planificación sostenible en la ordenación del territorio.

La utilización de las nuevas tecnologías de la información, como son los sistemas de información geográfica y la teledetección, se han consolidado en los últimos años como herramientas muy útiles en la realización de estudios de este tipo, permitiendo el análisis territorial y el seguimiento temporal de este fenómeno.

El presente estudio queda enmarcado dentro del Trabajo de Fin de Máster de Tecnologías de la Información Geográfica de la Universidad Complutense de Madrid impartido durante el curso 2011-2012.

En él se presenta un análisis del riesgo de erosión hídrica del suelo en la cuenca hidrográfica del río Mundo (provincia de Albacete (España)) mediante la implementación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en un Sistema de Información Geográfica. Con él se pretende conocer la distribución espacial y el grado de erosión que presentan estos territorios con el fin de determinar cuáles son las zonas más susceptibles y que esta información sirva a la hora de realizar cualquier planificación sobre el territorio.

## II. CONTEXTO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

---

### 1. ¿Qué es la erosión del suelo?

La erosión del suelo puede definirse como un fenómeno geológico complejo producido por el desprendimiento y transporte de partículas y material del suelo que se terminan depositando en otro lugar (Sylvia N. Crespí et al., 2007).

La erosión geológica es un proceso natural y normalmente presenta tasas bajas, el problema surge cuando debido a la intervención del hombre comienza a producirse una erosión acelerada que impide que el suelo se regenere. Esto puede suponer un peligro para el aprovechamiento de un territorio influyendo además de forma determinante en el riesgo de desertificación (*Según el artículo 1 de La Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación : “degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”, que se traduce en una pérdida de biomasa y productividad del suelo.*).

La erosión constituye uno de los problemas medioambientales y socioeconómicos más importantes a nivel global del siglo XXI. Se estima que una sexta parte del suelo mundial se encuentra afectado por erosión hídrica (Walling y Fang, 2003).

El problema de la erosión requiere el reconocimiento de los procesos erosivos y el estudio de sus factores causales, para establecer políticas de conservación (Fournier, 1972).

### 2. Mecanismos y factores de la erosión.

La erosión del suelo es un proceso que consta de tres fases: arranque, transporte y sedimentación de materiales.

Los procesos erosivos son muy variables en el tiempo y en el espacio. A escala planetaria, las tasas de erosión muestran un claro patrón dependiente del clima (A. Cerdà, 2001).

Si clasificamos la erosión del suelo atendiendo a los procesos que la desencadenan podemos distinguir entre:

- \* Erosión eólica: producida por el viento.
- \* Erosión hídrica: producida por el agua lluvia y cambios en regímenes de humedad.

En este estudio nos vamos a centrar únicamente en esta última: la erosión hídrica.

Existen cinco factores responsables de la erosión hídrica del suelo:

1. La precipitación: en el proceso de erosión hídrica el arranque de material suele producirse por el impacto y salpicadura de las gotas de lluvia, además el transporte de partículas viene dado por los flujos laminares que se crean en superficie.

2. El suelo: La naturaleza de los materiales que lo forman, su textura, profundidad y la permeabilidad del mismo van a determinar el grado de sensibilidad que presenta este frente a la erosión.
3. La topografía: La inclinación y la longitud de la pendiente del terreno juegan un papel fundamental en este proceso, así a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una mayor erosión.
4. La vegetación que recubre el terreno actúa disminuyendo la erosión ya que protege y sujeta el suelo, y además frena la escorrentía favoreciendo la sedimentación de las partículas transportadas.
5. El uso del suelo es un factor primordial condicionante de la erosión ya que modifica sus condiciones naturales. La erosión dependerá en buena medida del manejo y del tipo de cultivo implantado.

Cabe señalar que en suelos naturales, algunos autores no han encontrado ninguna relación entre la pendiente y la erosión, o bien esta ha sido más compleja de lo esperado (Abrahams 1988 in Hidalgo, J.C. 1995).

### **3. Efectos de la erosión e importancia de su estudio.**

Los efectos negativos que puede conllevar la erosión del suelo son diversos:

Sobre terrenos agrícolas la erosión puede desencadenar la disminución de la profundidad cultivable y la fertilidad de los suelos, intensificando así la dependencia de fertilizantes y causando incluso el abandono de los terrenos agrícolas.

En otros casos si la erosión es muy intensa puede alterar el funcionamiento de los ríos, la capacidad de retención de zonas inundables e incluso la colmatación y eutrofización de los embalses y masas de agua. (L. C. Alatorre & S. Beguería ,2009).

Además como se ha señalado con anterioridad, la erosión acelerada es uno de los principales factores que influyen de manera directa en los procesos de desertificación.

Dada la importancia que supone el estudio de la erosión del suelo en distintos campos como pueden ser la agricultura, la investigación forestal y otras ciencias relacionadas con el medio ambiente, la investigación en este campo se ha desarrollado ampliamente en los últimos años.

### **4. Toma de conciencia.**

La toma de conciencia sobre este problema comenzó en EEUU durante la década de los años 30 del siglo XX tras un periodo de gran sequía que dejó cantidad de suelos desnudos en la región centro del país provocando el fenómeno conocido como “Dust Bowl” (grandes tormentas de arena provocadas por la erosión eólica del suelo). Este gran desastre fue el que impulsó la creación del U.S Soil Conservation Service, institución dedicada a promover el desarrollo de formas de uso del suelo sostenibles (Almorox et al. 1994).

Es a partir de este momento cuando comienzan a estudiarse en profundidad el riesgo de erosión del suelo y sus posibles consecuencias medioambientales.

En 1977 tuvo lugar en Nairobi (Kenia) la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación, es en ese contexto donde se crea el Plan de Acción contra la Desertificación, que motivó que surgiera poco después uno de los primeros documentos de referencia en España sobre esta cuestión: en 1978 el antiguo ICONA (Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza) publicó *“La problemática de la erosión: programa de acciones en la vertiente mediterránea”*.

En 1981 se presenta el "Proyecto de Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo" (LUCDEME), que sigue en vigencia y es desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a través de la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal.

Desde 2002 comienza a elaborarse el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES) que supuestamente finalizará este año (2012), aunque en la actualidad existen numerosas provincias sin publicar.

También en 2002 la Unión Europea publica bajo el título “Estrategia Temática para la Protección del Suelo” un estudio sobre la situación del medio edáfico y sus potenciales amenazas.

En 2006 aparece el primer borrador de la Directiva Europea para la Protección del Suelo (COM, 2006).

## **5. Modelos matemáticos para estimar la erosión.**

Si hacemos un repaso observamos que desde la segunda mitad del s. XX han proliferado gran cantidad de modelos matemáticos que permiten realizar cálculos aproximados para evaluar la pérdida de suelo por erosión a distintas escalas.

Numerosas administraciones públicas han apostado por el desarrollo y aplicación de estos modelos, como es el caso de la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) y del Departamento de Agricultura (USDA) de los EEUU. En la Unión Europea también se han creado nuevos modelos como EUROSEM (Morgan et al., 1998), PESERA (Kirkby et al., 2000) etc.

Estos modelos varían en sus requerimientos de información, insumos y en su facultad para predecir otros procesos tales como el ciclo hidrológico, pérdida de nutrientes por lixiviación y escorrentía y/o otros procesos incluyendo el desarrollo de los cultivos (FAO, 2005).

Dependiendo de la forma matemática que adopte la descripción de los procesos físicos representados, podemos clasificar los modelos de erosión en tres grupos (Merritt et al., 2003):



- \* Modelos empíricos: Se basan en el análisis estadístico de datos obtenidos mediante observación. Son generalmente los más sencillos de aplicar.
- \* Modelos conceptuales: Representan la erosión partiendo de una serie de almacenamientos entre los que se establecen relaciones matemáticas simplificadas.
- \* Modelos de base física: Basados en leyes físicas que controlan las relaciones entre los parámetros y los procesos observados.

A continuación observamos un cuadro extraído de L. C. Alatorre & S. Beguería (2009): “Los modelos de erosión: una revisión.” Rev. C. & G., 23 donde aparecen los modelos de predicción de la erosión del suelo más utilizados, así como la escala espacial y temporal en las que se suelen emplear (Figura 1).

<i>Modelo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Escala espacial</i>	<i>Escala temporal</i>	<i>Base de datos</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia (año)</i>
USLE	Empírico	Ladera	Anual	Alta	Erosión	Wischmeier y Smith, 1978
ANSWERS	Físico	Peq. cuencas	Evento/ continuo	Alta	Escurrentía, pico máximo, erosión, sedimentos, producción de sedimentos	Beasley et. al., 1980
HSPF	Conceptual	Cuenca	Continuo	Alta	Escurrentía, tasa de escurrentía, carga de sedimentos	Johanson et. al., 1980
CREAMS	Físico	Parcela	Evento/ continuo	Alta	Erosión, depositación	Knisel, 1980; Knisel, 1995
KINEROS/ KINEROS2	Físico	Ladera/ Cuenca	Peq. Evento	Alta	Escurrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Smith, 1981; Smith et. al., 1995a y 1995b; Woolhiser et. al., 1990
EPIC	Físico	Ladera/ Cuenca	Peq. Continuo	Alta	Erosión	Williams et. al., 1983
MMF	Empírico/ conceptual	Ladera/ Cuenca	Peq. Anual	Moderada	Escurrentía, erosión	Morgan et. al., 1984; Morgan, 2001
PESERA	Físico	Ladera/ regional	Continuo	Alta	Escurrentía, erosión, sedimentos	Kirkby et. al., 2000
AGNPS	Conceptual	Peq. cuencas	Evento/ continuo	Alta	Escurrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Young et. al., 1989
IHACRES-WQ	Empírico/ conceptual	Cuenca	Continuo	Baja	Escurrentía, carga de sedimentos	Jakeman et. al., 1990; Jakeman y Hornberger, 1993
THORNES	Conceptual/ empírico	Ladera/ Cuenca	Peq. Anual	Moderada	Escurrentía, erosión	Thornes, 1990
TOPOG	Físico	Ladera	Continuo	Alta	Riesgo de erosión, escurrentía, pico máximo, solutos, producción de sedimentos	CSIRO Land and Water, TOPOG Homepage
WEPP	Físico	Ladera/ Cuenca	Peq. Continuo	Alta	Escurrentía, producción de sedimentos, pérdida de suelo	Nearing et. al., 1989; Lafien et. al., 1991
RUSLE	Empírico	Ladera	Anual	Alta	Erosión	Renard et. al., 1991 y 1994
PERFECT	Físico	Parcela	Continuo	Alta	Escurrentía, erosión	Littjeboy et. al., 1992
SWAT	Conceptual	Cuenca	Continuo	Alta	Escurrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Arnold et. al., 1995
IQQM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Moderada	Escurrentía, sedimentos, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno	DLWC, 1995
EROSIÓN 3D	2D-Físico	Cuenca	Evento	Alta	Escurrentía, erosión, sedimentos	von Werner, 2000; Schmidt et. al., 1997
LISEM	Físico	Peq. cuencas	Evento	Alta	Escurrentía, sedimentos	de Roo et. al., 1996; de Roo y Jatten, 1999
RUSLE-3D	Empírico/ conceptual	Cuenca	Anual	Moderada	Erosión	Mitasova et. al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998
USPED	Empírico/ conceptual	Cuenca	Evento/ anual	Moderada	Erosión, depositación	Mitasova et. al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998
SHETRAN	Físico	Cuenca	Evento	Alta	Escurrentía, pico máximo, sedimentos, producción de sedimentos	Wicks y Bathurst, 1996
GUEST	Físico	Parcela	Continuo	Alta	Escurrentía, concentración de sedimentos	Rose et. al., 1997
MIKE-11	Físico	Cuenca	Continuo	Alta	Producción de sedimentos, escurrentía	Hanley et. al., 1998
EUROSEM	Físico	Peq. cuencas	Evento	Alta	Escurrentía, erosión, sedimentos	Morgan et. al., 1998
SPL	Empírico/ conceptual	Cuenca	Anual	Moderada	Erosión fluvial, incisión en ríos	Stock y Montgomery, 1999
LASCAM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Alta	Escurrentía, sedimentos	Viney y Sivapalan, 1999
WATEM	Conceptual	Cuenca	Anual	Moderada	Erosión	Van Oost et. al., 2000; Van Rompaey et. al., 2001
SEDNET	Conceptual/ empírico	Cuenca	Anual/ continuo	Alta	Sedimentos en suspensión, contribución del flujo superficial, procesos de rills y gullies	Wilkinson et. al., 2004
EMSS	Conceptual	Cuenca	Continuo	Baja	Escurrentía, carga de sedimentos	Vertessey et. al., 2001
STREAM	Conceptual	Cuenca	Evento	Moderada	Escurrentía y erosión	Cerdan et. al., 2002
CASC2D-SED	Físico	Peq. cuencas	Evento/ continuo	Alta	Escurrentía, pico máximo, erosión y sedimentación separando las partículas por tamaños	Rojas, 2002
SEAGIS	Empírico/ conceptual	Cuenca	Anual	Alta	Erosión, producción de sedimentos	DHI, 2003
AGWA	Conceptual/ físico	Cuenca	Continuo	Alta	Escurrentía, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Burns et. al., 2004

Figura 1: Cuadro extraído de L.C A Latorre & S. Beguería (2009): Los modelos de erosión: una revisión. Rev. C.& G., 23.

### III. LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE)

---

Aunque como hemos visto existen gran cantidad de modelos para calcular la erosión del suelo, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation) es todavía el modelo de estimación de la erosión del suelo con mayor aceptación y de más amplia aplicación (Almorox, 1994).

Se trata de una tecnología empírica generada mediante un proceso evolutivo que ha tenido lugar en los últimos 60 años, y está aún en fase de evolución con el desarrollo de diversas revisiones (J.M. Laflen 2003).

Fue desarrollada durante la primera mitad del siglo 20 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Esta ecuación es el resultado del trabajo de numerosos investigadores como Zingg (1940), que relacionó la erosión con la pendiente y la longitud de la ladera, Musgrave (1947), que incluyó un factor climático basado en la precipitación máxima o Smith (1958) que consideró un nuevo factor según el tipo de cultivo.

Años más tarde, los investigadores Walter Wischmaier y Dwight Smith recogieron estos estudios en su modelo presentado en 1978. (Gabriel A. Mancilla, 2008). Este modelo está basado en una serie de relaciones estadísticas entre las pérdidas de suelo y determinadas variables reconocidas como los factores implicados de mayor significación en el proceso de erosión hídrica. Esta ecuación permite predecir la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica laminar bajo diferentes combinaciones de uso y manejo teniendo en cuenta las características físicas del terreno. La USLE tiene en cuenta seis factores y su modelo matemático es el siguiente:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

- **A:** pérdida anual de suelo (t/ha\*año).
- **R** = Erosividad de la lluvia (hJ\*cm/m<sup>2</sup>\*h\*año).
- **K** = Erodabilidad del suelo (ton\*h\*m<sup>2</sup>/ha\* hJ\*cm).
- **LS** = longitud de la pendiente en metros y gradiente (adimensional).
- **C** = Factor cobertura (adimensional).
- **P** = Prácticas de conservación del suelo (adimensional).

#### 1. Factor Erosividad de la lluvia:

Representa la energía con que las gotas de lluvia impactan en el suelo a determinada intensidad rompiendo los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable. Se trata de un factor activo en el proceso de erosión.

Para su cálculo se han diseñado numerosos índices que se han utilizado en modelos de predicción del riesgo de erosión, siendo el más conocido el factor R (Wischmeier, 1959)

empleado por el Departamento de Agricultura de los EEUU (Pascual Aguilar, J.A et al 2003).

El factor R se deduce a partir del producto de la energía cinética liberada por la lluvia (E) y la máxima intensidad de precipitación durante un intervalo de 30 minutos (I<sub>30</sub>) de la tormenta mediante la siguiente ecuación (Eva Colotti Bizzarri, 1999):

$$R = \frac{EI_{30}}{173.6}$$

Para el cálculo del índice de Erosividad de la lluvia propuesto por Wischmeier se necesita contar con información pluviométrica muy específica muy difícil de obtener por lo que numerosos autores han señalado la gran dificultad que existe para poder aplicar en algunos territorios este índice donde la red de pluviógrafos existentes es escasa y está irregularmente distribuida, como ocurre en España (ICONA, 1988; González, Hidalgo, 1996).

Para poder resolver este problema, se han propuesto algunos índices adicionales que permiten calcular de forma más sencilla el índice de erosividad de la lluvia: como son el índice de agresividad climática de Fournier (1960) que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por escorrentía. (Antonio Jordán 2000) y el índice modificado de Fournier (IFM) propuesto por Arnoldous en 1980 que después del índice R es el más utilizado.

## 2. Factor Erodabilidad del suelo:

Este factor representa la respuesta del suelo a una determinada fuerza o mecanismo erosivo, es decir, la susceptibilidad que presenta el suelo a ser erosionado.

Este parámetro se obtiene a través de una ecuación de regresión que pone en relación K con diversas propiedades del suelo como son su textura, estructura, permeabilidad, presencia de materia orgánica y profundidad. La ecuación matemática es la siguiente:

$$K = 1,313 * [2,1 P^{10-4} * (12-MO) * M^{1,14} + 3,25 * (S-2) + 2,5 * (p-3) ] / 100$$

Donde:

**MO:** Contenido en materia orgánica (%)

**S:** código de la estructura del suelo

**P:** código de permeabilidad

**M:** factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limo. En términos matemáticos M corresponde a (% limo+ arena muy fina) \* (100 - % arcilla).

Wischmeier y Smith (Wischmeier et al.1971) también generaron un nomograma de Erodabilidad en donde se ponen en relación de forma gráfica los valores de K con las propiedades anteriormente citadas del suelo. Este nomograma permite calcular el valor de K de forma gráfica y actualmente esta es la manera más extendida para hallar este parámetro.

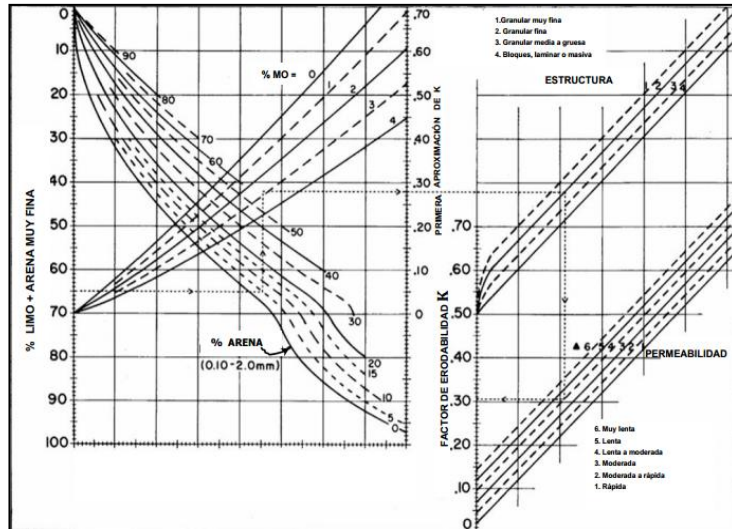


Figura 2: Nomograma de erodabilidad. Fuente: Wischmeier & Smith (1971).

Actualmente en numerosos estudios encontramos tablas donde se presentan los valores estimados de K teniendo en cuenta la naturaleza de las litofacies o el tipo de suelo. Como por ejemplo las generadas por el ICONA en 1982.

### 3. Factor topográfico

Este factor combina dos parámetros distintos: la longitud de la pendiente (L) y su ángulo de inclinación(S). LS representa la relación de pérdida de suelo que se espera por unidad de área en una pendiente determinada x en relación con la pérdida correspondiente en una pendiente del 9% y de 22,13 metros de longitud.

Este factor es uno de los más difíciles de calcular cuando no se aplica la USLE a escala de parcelas, donde los terrenos son uniformes tanto en grado de pendiente como en longitud de flujo (A.G. Barrios 2000). Wischmeier y Smith propusieron una ecuación para el cálculo de este factor así como un nomograma, sin embargo en los últimos años han aparecido diversas ecuaciones que permiten calcular este factor.

Entre ellas destaca la propuesta por Berne Engel en 2003 basada en la acumulación del flujo o caudal y la inclinación de la pendiente. La ecuación es:

$$LS = (\text{Flujo acumulado} * \text{tamaño de la celda} / 22.13)^{0.4} * (\sin \text{pendiente} / 0.0896)^{1.3}$$

Esta fórmula es la más utilizada en trabajos donde se implementa la USLE en un SIG para evaluar la pérdida de suelo sobre amplios territorios.

Entonces el flujo acumulado de capa raster queda expresado como un número o conjunto de celdas (derivadas de las fases del proceso de delimitación de cuencas) y el tamaño de la celda es la longitud del tamaño de un lado de las celdas (Burciaga et al 2010).

Cabe señalar que debida la dificultad que supone la deducción de este factor encontramos algunos autores que dejan el valor de L constante y únicamente

incorporan el valor en porcentaje de pendiente (S) en este cálculo como Foster et al., 1997.

#### **4. Factor cobertura del suelo**

El factor vegetación representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, ya que como hemos visto contribuye a frenar la erosión del suelo. Para el cálculo de este parámetro existen tabulaciones no ecuaciones (Mancilla Escobar, 2008).

Wischmeier y Smith propusieron en su modelo valores entre el 0 y 1 para este parámetro que dependerá del tipo de vegetación existente y de su grado de cobertura. Supone un factor decisivo en la USLE ya que por muy abrupto que sea el terreno si la vegetación se encuentra bien desarrollada la erosión será leve.

Haciendo un repaso por la literatura existente encontramos diferentes métodos para el cálculo de este factor.

La gran mayoría de los estudios se apoya en estudios de campo previos para observar la naturaleza de la cobertura y tras una clasificación de la misma se asignan los valores estimados por Wischmeier y Smith o por otros organismos como el ICONA (1982).

#### **5. Factor prácticas de conservación del suelo**

Representa la relación existente entre las pérdidas de suelo que tienen lugar bajo determinada práctica de conservación de suelo y las pérdidas que ocurren en la misma área sin que existan prácticas de conservación. Este parámetro toma valores entre 0 y 1. Las prácticas incluidas en este término son: las curvas de nivel, los cultivos en faja (cultivos alternados sobre contornos), y las terrazas (Ferran Conill, 2007).

En numerosas ocasiones los estudios en los que se aplica la USLE no consideran este factor bien por falta de información disponible al respecto o por no existir prácticas de conservación en la zona de estudio.

#### **\* Evolución y críticas al modelo**

La USLE ha sufrido modificaciones que han dado lugar a modelos matemáticos diferentes como:

- La RUSLE *“Revised Universal Soil Loss Equation”* (Renard et al., 1991 y 1994) que modifica la forma de estimar los distintos factores.
- La MUSLE *“Modified Universal Soil Loss Equation”* (Williams, 1975),
- La RUSLE -3D (Mitasova et al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998)
- La SLEMSA *“Soil Loss Estimation Model for Southern Africa”* (Elwell, 1981).

La evolución de la USLE y sus modificaciones se encuentra muy bien recogida en *"Pioneering Soil Erosion Prediction: The USLE Story"* (Laflen, J.M. et al 2003) así como en *"A guide to conservation planning with the Revised Universal soil Loss Equation (RUSLE)"* (Renard, et al. .USDA 1997) .

La USLE a pesar de tratarse de uno de los métodos que más se utiliza en la actualidad como herramienta para planificar la conservación de los suelos se ha enfrentado a numerosas críticas.

En primer lugar aunque parece que es un método muy sencillo la obtención de los datos fiables que alimenten el modelo no lo es.

La mayoría de las críticas argumentan que no es una ecuación universal sino que ha sido preparada para ser utilizada con las condiciones de los Estados Unidos (Loch y Rosewell, 1992).

Además este modelo en un principio se generó para medir la erosión de zonas bastante restringidas (una parcela) por lo que cuando se pretende aplicar el mismo modelo a un territorio más amplio pueden surgir grandes dificultades y resultados algo desvirtuados.

Otra de las críticas es la interdependencia de los factores en la ecuación no está considerada.

#### **IV. EL PAPEL DE LOS SIG EN LOS ESTUDIOS DE EROSIÓN.**

---

En los últimos años gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías de información geográfica (TIG) han visto la luz una gran cantidad de artículos y trabajos que emplean estos sistemas (SIG y Teledetección en su mayoría) para llevar a cabo análisis de erosión a muy diferentes escalas.

Los sistemas de información geográfica presentan grandes ventajas a la hora de implementar un modelo para el análisis de erosión, ya que permiten:

- \* Procesar y operar gran cantidad de datos que permiten el cálculo de las distintas variables implicadas en el modelo, pudiendo obtener como resultado una capa para cada factor de la ecuación matemática.
- \* Ejecutar operaciones y análisis entre capas.
- \* Observar la distribución espacial de los resultados.
- \* Crear escenarios posibles.
- \* Visualizar y generar cartografía que muestre de forma clara y concisa los resultados obtenidos.

La bibliografía presenta gran cantidad de estudios en los que se emplean los Sistemas de Información Geográfica para aplicar modelos predictivos de erosión a muy diferentes escalas.

## **V. ZONA DE ESTUDIO**

---

El área de estudio escogida ha sido la cuenca hidrográfica del río Mundo (Albacete). Ésta se ha seleccionado pensando en las condiciones físicas del territorio, que como veremos a continuación la convierten en una zona potencial para la existencia de procesos de erosión hídrica acelerada.

Además cabe señalar que Albacete es una de las provincias españolas que aún no ha sido publicada en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos que tenía como fecha de finalización este año (2012).

### **1. Localización:**

La cuenca hidrográfica del río Mundo (figura 3) se encuentra localizada en la zona suroriental de la provincia de Albacete (España) y abarca una extensión de 1.013 kilómetros cuadrados.

### **2. Relieve:**

Geológicamente la cuenca se encuentra dentro de la zona Prebética de las cordilleras Béticas.

Los materiales que conforman esta zona son en su mayoría calizas más o menos dolomitizadas, margas y arcillas (Labaña Serrano, F.1984).

El relieve de la cuenca presenta grandes contrastes, ya que se encuentra limitada en cabecera por las Sierras de Alcaraz y del Calar del Mundo dónde se impone el ámbito montañoso llegando a superar los 1600 m de altitud mientras que en el sector oriental de la cuenca destacan unidades de relieve mucho más llanas que van descendiendo de altitud hasta alcanzar los 300 metros.

Cabe destacar la alta presencia de modelados de tipo kárstico, sobre todo en la zona alta de la cuenca.

### **3. Climatología:**

La cuenca del río Mundo presenta en su conjunto un clima mediterráneo templado con influencia continental debido a su lejanía al mar.

Las temperaturas medias oscilan entre los 12º C en las zonas montañosas de la cabecera y los 16º C en las zonas más bajas.

Las precipitaciones medias también varían en función del relieve, así encontramos valores superiores a los 600 mm anuales en las zonas de cabecera mientras que los valores registrados en las llanuras de la zona baja raras veces superan los 300 mm .

Los meses con mayores precipitaciones son noviembre y diciembre, mientras que los veranos son calurosos y con escasez de lluvia.

La diversidad topográfica de la cuenca permite que encontremos 3 pisos bioclimáticos distintos (Rivas Martínez in Alcaraz Ariza & Sánchez Gómez .1988) que van a



condicionar el tipo de vegetación y uso del suelo existente.: Oromediterráneo y Supramediterráneo en la zona alta de la cuenca y Mesomediterráneo en el resto.

#### **4. Hidrología:**

El río Mundo, nace a 1.075 m de altitud sobre el nivel del mar, en el complejo kárstico del Macizo del calar del Mundo y recorre una longitud de 110 km hasta desembocar en el río Segura. Se trata del principal afluente del río Segura y transporta más agua que éste (unos 174 hm<sup>3</sup>).

Su cuenca hidrográfica es la más caudalosa de las que conforman la Confederación hidrográfica del Segura. En el primer tramo, la cuenca es marcadamente torrencial, con una pendiente muy pronunciada (Confederación hidrográfica del Segura).

Dentro de la cuenca encontramos tres embalses de gran importancia:

El embalse del Talave, el del Boquerón y el de las Camarillas con unos volúmenes útiles de 35, 13 y 36 hm<sup>3</sup> respectivamente.

#### **5. Edafología**

La información edafológica de la zona se ha obtenido del mapa de suelos a escala 1:1.000.000 y se han contrastado con los documentos de Agenda 21 publicados por las mancomunidades que conforman la cuenca ya que no existen mapas de suelos a escala provincial ni autonómica que hayan permitido ser más precisos. Ni siquiera el mapa de estados erosivos de la cuenca hidrográfica del Segura (ICONA 1988) tiene en cuenta el tipo de suelo existente a la hora de calcular la erosión debido (según exponen en la memoria del mismo) a la falta de datos.

Los suelos que encontramos en la zona de estudio son de diverso tipo pero generalmente de caracterizan por estar escasamente evolucionados y ser poco aptos para la agricultura:

- En la cabecera de la cuenca sobre sustratos básicos de calizas y dolomías muy permeables encontramos Inceptisoles de tipo *Xerochrepts* (USDA) .Estos suelos presentan un bajo contenido en materia orgánica y una textura franco arenosa.
- En la zona central de la cuenca encontramos sobre materiales carbonatados dos tipos de Aridisoles de orden Orthid (USDA):
  - Suelos de tipo *Calciorthid* : son suelos alcalinos de color claro, poco profundos y presentan bajo contenido en materia orgánica. Su textura generalmente es gruesa y poseen una actividad biológica baja.

# Cuenca Hidrográfica del río Mundo

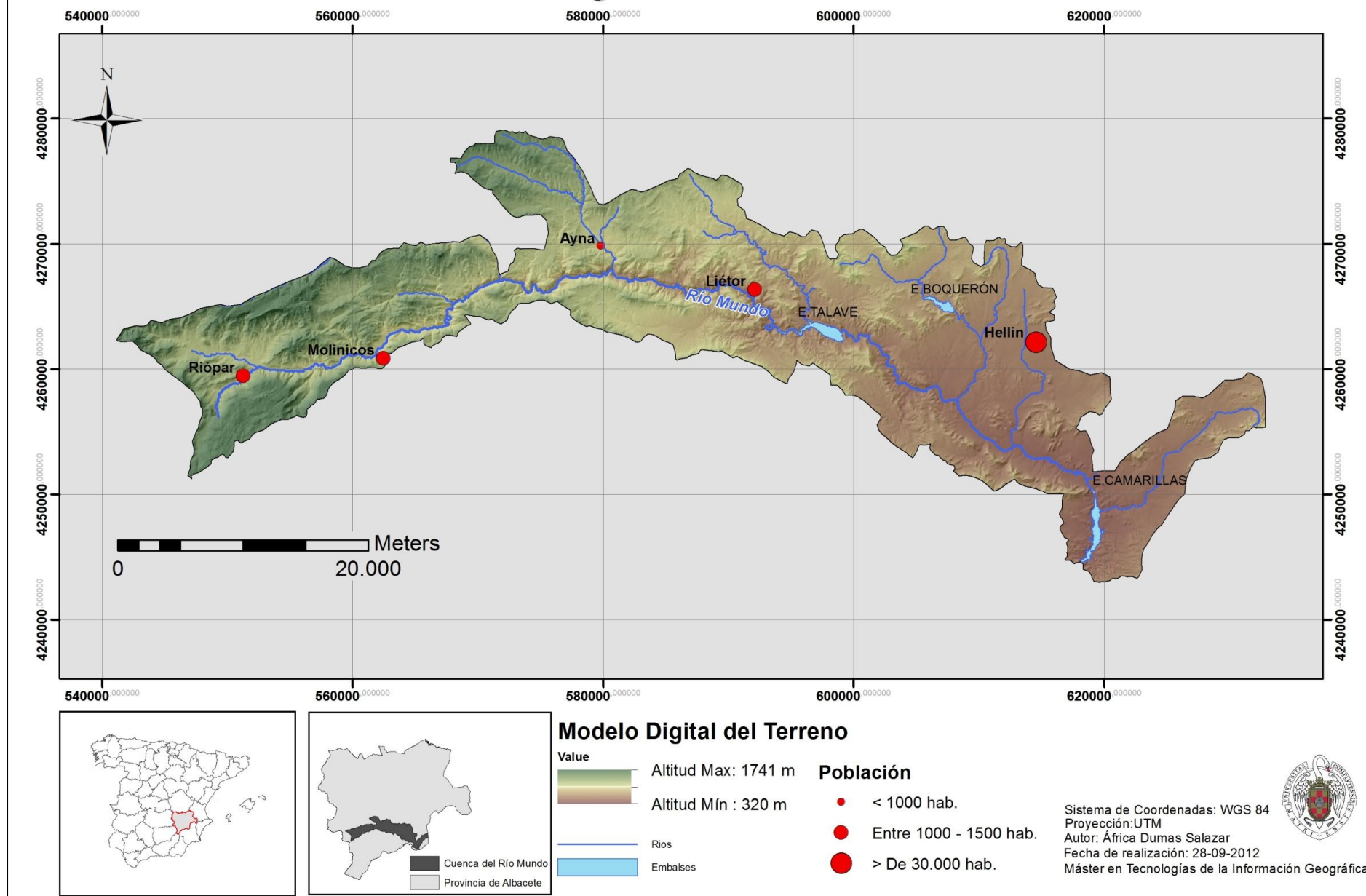


Figura 3: Mapa de localización Cuenca Hidrográfica del río Mundo. Fuente: Elaboración propia

· Suelos de tipo *Camborthid* (USDA): son suelos profundos con pH ácido. Poseen poca materia orgánica y su textura es franco-arcillo-arenosa.

Estos dos tipos de suelos presentan sales en su perfil debido en parte a que se encuentran sometidos a un déficit hídrico durante largos periodos.

- Por último sobre los materiales margosos y arcillosos que conforman la parte más baja de la cuenca encontramos suelos de tipo Entisol *Torriorthent* (USDA), que se caracterizan por estar poco evolucionados y situados sobre depósitos recientes de tipo fluvial.

## 6. Vegetación

En la cabecera de la cuenca en las zonas más altas de cumbres encontramos formaciones de matorral almohadillado espinoso, mientras que en las sierras y los estrechos valles que los separan aparecen pinares y encinares. De forma puntual encontramos también algunos rebollares, quejigares y algún bosque de arce.

En la hoz del río mundo aparecen cultivos olivareros en las laderas que han sido aterrazadas, así como algunas huertas de riego.

En la zona de más baja de la cuenca perteneciente al valle del río Mundo destacan los cultivos de regadío frutícola altamente parcelados. Mientras que en el límite de la provincia de Albacete con Murcia dominan las zonas agrícolas de secano. (MATA OLMO, R & SANZ HERRÁIZ, C. 2004).

## 7. Figuras de protección

Como hemos podido ver la cuenca del río Mundo posee grandes contrastes en su relieve, vegetación y usos del suelo, lo que hace posible que en ella se diferencien diversos tipos de paisaje.

Esta gran diversidad aporta singularidad a la cuenca y hace que en ella encontremos diversas figuras de protección que podemos observar representados en la figura 4.

Así distinguimos:

- El Parque Natural del Calar del río Mundo y la cabecera del río Tus y Guadalimar.
- Un LIC (Lugar de Interés Comunitario) que ocupa las zonas de la Sierra de Alcaraz y del Segura localizadas en la parte alta junto con los cañones y el cauce del río Mundo.

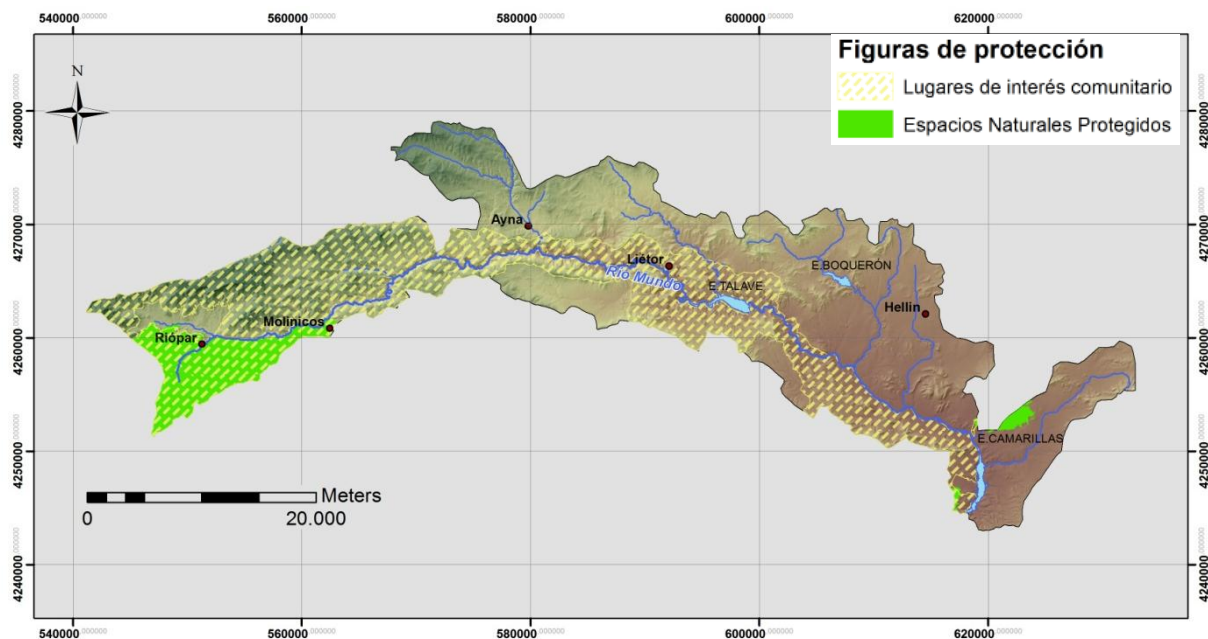


Figura 4: Mapa de figuras de protección de la Cuenca del río Mundo. Fuente: Elaboración propia

## 8. Población

Dentro de la cuenca encontramos los siguientes municipios: Alcaraz, Ayna, Bogarra, Hellín, Jumilla, Liétor, Molinicos, Paterna del Madera, Peñascosa, Tobarra y Vianos. Siendo Hellín el que mayor número de habitantes posee (31.199 h.) y el que más superficie ocupa.

Exceptuando este municipio la densidad de población de la cuenca no supera los 20 habitantes por kilómetro cuadrado.

## **VI. MATERIAL Y MÉTODOS**

---

Para la elaboración de este estudio se ha utilizado la herramienta SIG ArcGis 10 Desktop de ESRI, donde hemos utilizado las siguientes aplicaciones: ArcMap, ArcToolbox y ArcCatalog. La información espacial en formato digital empleada como punto de partida ha sido obtenida de diversas fuentes:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Sistema de Información Geográfica Agraria (SIGA).
- Sistema español de Información de Suelos sobre Internet (SEISnet).
- Servidor de datos del Centro de Investigación Forestal (CIFOR) perteneciente al INIA.
- IDEE Castilla La Mancha.

### **1. Cartografía digital base utilizada.**

Para la realización de este estudio hemos partido de información existente en diferentes capas digitales (formato shape) todas ellas han sido posteriormente reproyectadas en el sistema de coordenadas WGS 84, UTM Huso 30 Norte con el fin de homogeneizar el sistema de proyecciones y poder así trabajar.

- \* Modelo Digital del Terreno (tamaño de celda 25 metros).
- \* Capa vectorial de polígonos con información sobre los límites administrativos de las provincias y municipios de España.
- \* Capa vectorial de polígonos con información del mapa edafológico nacional a escala 1:1.000.000.
- \* Capa vectorial de líneas con la hidrología de España.
- \* Capa vectorial polígonos información sobre el Mapa Forestal Nacional 1:50.000 (IFN3)
- \* Capa vectorial de polígonos Corine Land Cover 2000 (usos del suelo).
- \* Capa vectorial de polígonos Corine Land Cover 2006 (usos del suelo).
- \* Capa vectorial de polígonos con información sobre espacios naturales protegidos.
- \* Capa vectorial de polígonos con información sobre los lugares de interés comunitario.
- \* Compendios de precipitaciones medias mensuales correspondientes a todo el registro histórico de las estaciones climatológicas de la provincia de Albacete.

## 2. Metodología

Para implementar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en ArcGis se calculó por separado cada uno de los factores que la integran mediante una serie de operaciones, dando como resultado una capa raster para cada factor. Esto nos ha permitido a posteriori operar con todas las capas resultantes para obtener la cartografía de riesgo de erosión esperada.

El siguiente esquema muestra *grosso modo* el procedimiento llevado a cabo:

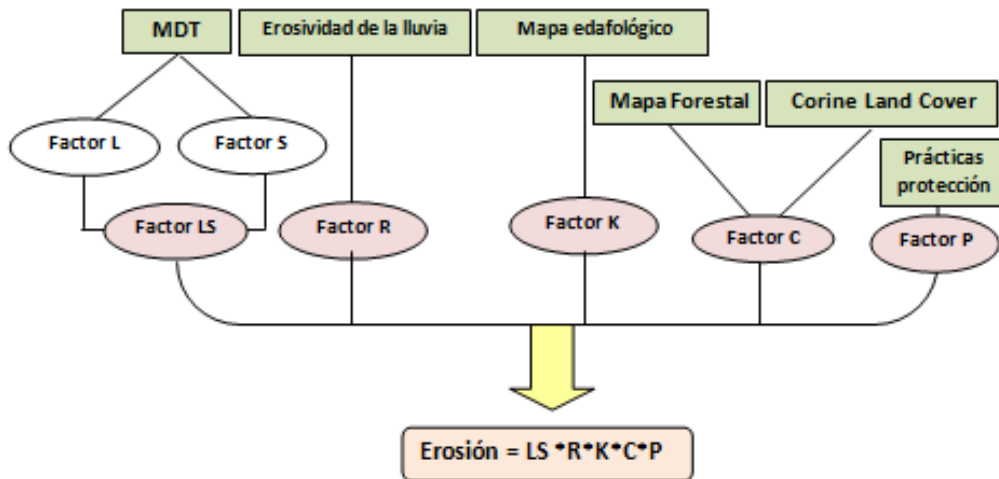


Figura 5: Esquema metodológico aplicación USLE. Fuente: Elaboración propia

### 2.1 Cálculo factor R: Erosividad de la lluvia

En un primer momento se decidió utilizar el Índice de Fournier Modificado (IFM) para obtener el factor de erosividad de la lluvia, ya que contábamos con la información pluviométrica necesaria para su cálculo, mientras que nos faltaba información para el cálculo del índice de Wischmeier. Para ello se aplicó la siguiente fórmula para cada una de las estaciones meteorológicas de la zona:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Dónde  $p_i$  es la precipitación máxima mensual en mm y  $P$  es la precipitación total anual en mm.

Una vez obtenido el IFM para cada estación meteorológica se contrastaron los resultados con los datos del factor R disponibles en el Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA). Al observar que la correlación entre ambos índices era muy baja se decidió utilizar en este estudio los valores del índice R de Wischmeier.

Para la obtención de una capa raster que representase los valores de erosividad de la lluvia en toda el área de estudio se seleccionaron con ayuda del Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA) todas las estaciones meteorológicas localizadas en la zona de estudio para las que existiese un valor calculado del factor R de Wischmeier disponible.

Debido a la dificultad que conlleva la recopilación de datos necesarios para el cálculo de este factor solo existen en la zona trece estaciones (figura 6) que posean este dato:

Nº	Estación Meteorológica	X	Y	Altitud(m)	Precipitación media anual(mm)	Factor R
1	Bogarra	569697,563	4269065,500	880	514,4	93,25
2	Bogarra las Yeguarizas	563367,350	4267414,090	1186	670,2	124,95
3	Cañada del Provencio	559574,500	4263435,500	1125	837,6	155,81
4	Cañadas de Haches de abajo	574002,438	4274653,500	1165	543,8	98,25
5	Embalse de Camarillas	619452,500	4243754,553	397	314,7	78,82
6	Embalse de Talaves	600283,563	4261991,232	550	338,8	89,57
7	Fuenlabrada	572517,750	4278339,000	1250	599,8	123,73
8	Hellin C.D.Agr	614818,000	4262186,000	550	330,6	83,04
9	Hellin el Gamonal	619343,000	4251152,500	358	378,6	115,07
10	Hellin I.L	613364,500	4262165,500	560	342,8	89,17
11	Hijar	585709,813	4265521,500	617	395,2	95,04
12	Lietor C.H.S	591520,813	4265586,000	641	381,4	103,94
13	Riopar Fabricas C.H.S	550867,938	4261526,000	1000	794,3	150,10

Figura 6: Tabla de estaciones meteorológicas utilizadas. Fuente: Elaboración propia

A partir de las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones meteorológicas se generó una capa de puntos a la que se asignaron los valores de altitud, precipitación media anual y erosividad de la lluvia.

Con el objetivo de generar una capa raster que incluyese dicha información para todo el territorio se aplicó un método de interpolación de los valores puntuales del factor R, en este caso un Kriging Linear (Herramienta de análisis geo-espacial en ArcGis). Obteniendo como resultado una capa raster con los valores de erosividad de la lluvia para la totalidad de la zona de estudio (figura 7).

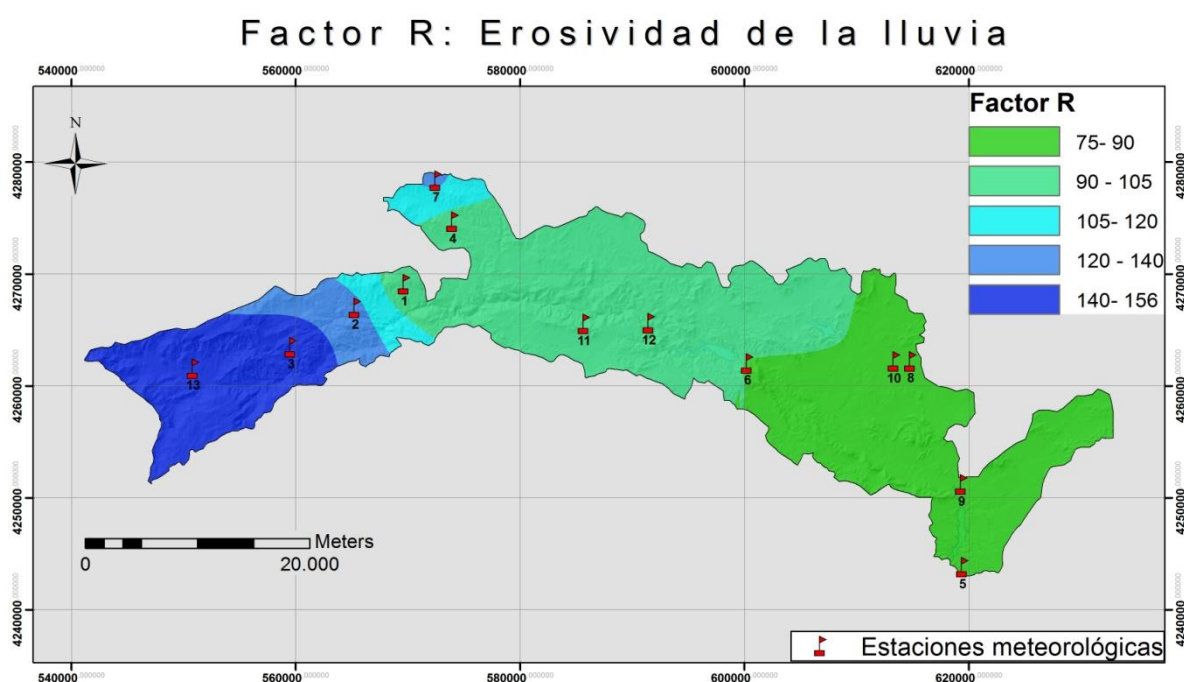


Figura 7: Mapa erosividad de la lluvia (Factor R). Fuente: Elaboración propia

2.2. Cálculo factor K: Erodabilidad del suelo

Los valores de este factor, suelen obtenerse a partir de medidas realizadas en trabajo de campo, cuando el territorio de estudio es de grandes dimensiones esto es demasiado laborioso. Por ello se suele recurrir a mapas litológicos o a mapas edafológicos y a partir de ahí se asignan valores estimados.

En este estudio, los valores de erodabilidad han sido asignados a partir del tipo de suelo existente en cada zona. Para ello se ha consultado el mapa edafológico digital a escala 1:1.000.000 editado en el año 2001 por el Sistema Español de Información de Suelos que emplea la taxonomía de suelos de USDA (*Soil Taxonomy*).

Una vez recortada nuestra zona de estudio se ha buscado bibliografía para asignar equivalencias de los suelos existentes entre la *Soil Taxonomy* y la clasificación de suelos de la FAO, ya que el ICONA publicó una tabla con los valores de K para cada tipo de suelo en España siguiendo esta última clasificación y atendiendo a la textura del suelo. Esta tarea ha resultado ardua ya que a veces no existe una equivalencia segura. Como los valores de k varían además según la textura que presente el suelo y no se poseía dicha información se ha tomado en todos los casos el valor asignado por el ICONA a los suelos con textura media.

Soil Taxonomy (USDA)	Clasificación FAO	Factor K
Aridisol Orthid Calciorthid	Xerosol Cálxico	0,079
Aridisol Orthid Camborthid	Xerosol Háplico	0,079
Inceptisol Ochrept Xerochrept	Cambisol Calcárico	0,040
Entisol Orthent Torriorthent	Regosol Calcárico	0,050

Figura 8: Tipos de suelo y erodabilidad (Factor K). Fuente: Elaboración propia

Una vez asignados los valores de k a la capa vectorial para cada tipo de suelo hemos

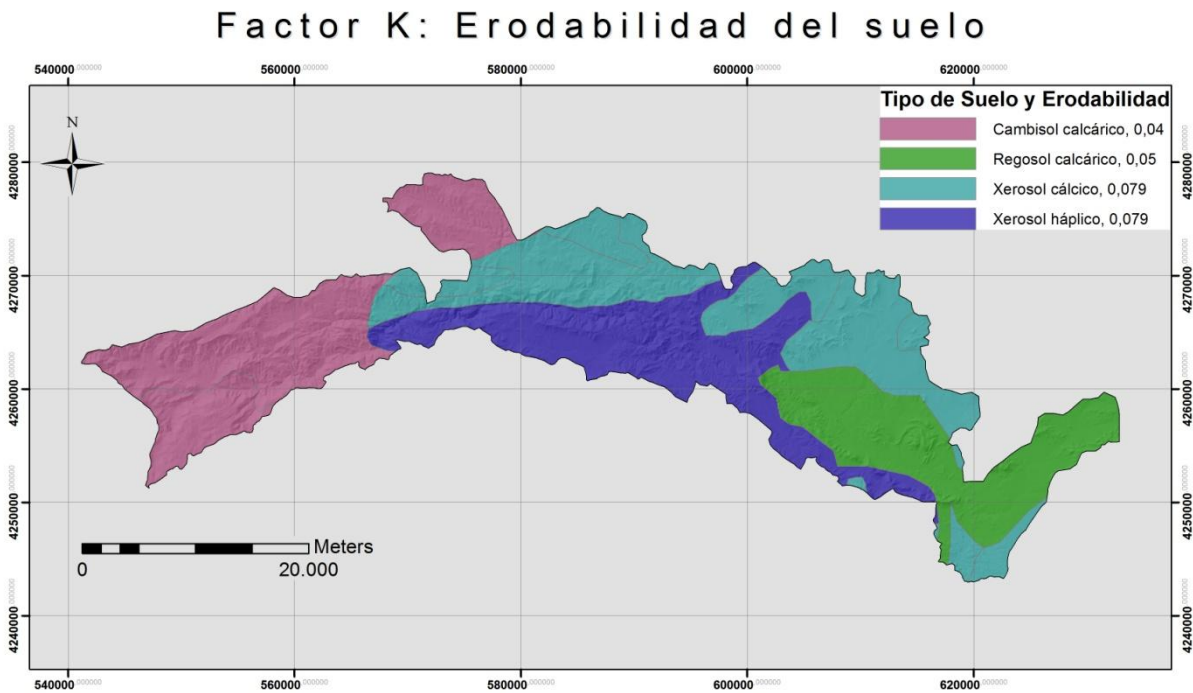


Figura 9: Mapa erodabilidad del suelo (Factor K). Fuente: Elaboración propia



generado una capa raster que mostrase para cada pixel el valor de erodabilidad asignado (figura 9).

### 2.3. Cálculo del factor LS: factor topográfico

Como se explicó anteriormente este factor se calcula a partir de dos subfactores: La inclinación de la pendiente (S) y su longitud (L).

Para el cálculo de ambos necesitamos partir del modelo digital del terreno (MDT) de la zona.

Antes de comenzar rellenamos los posibles sumideros y errores que pueda tener el MDT con la herramienta fill mdt.

- Cálculo del subfactor S:

Comenzamos calculando la inclinación de las pendientes del terreno (en grados) con la herramienta *Slope* (figura 10).

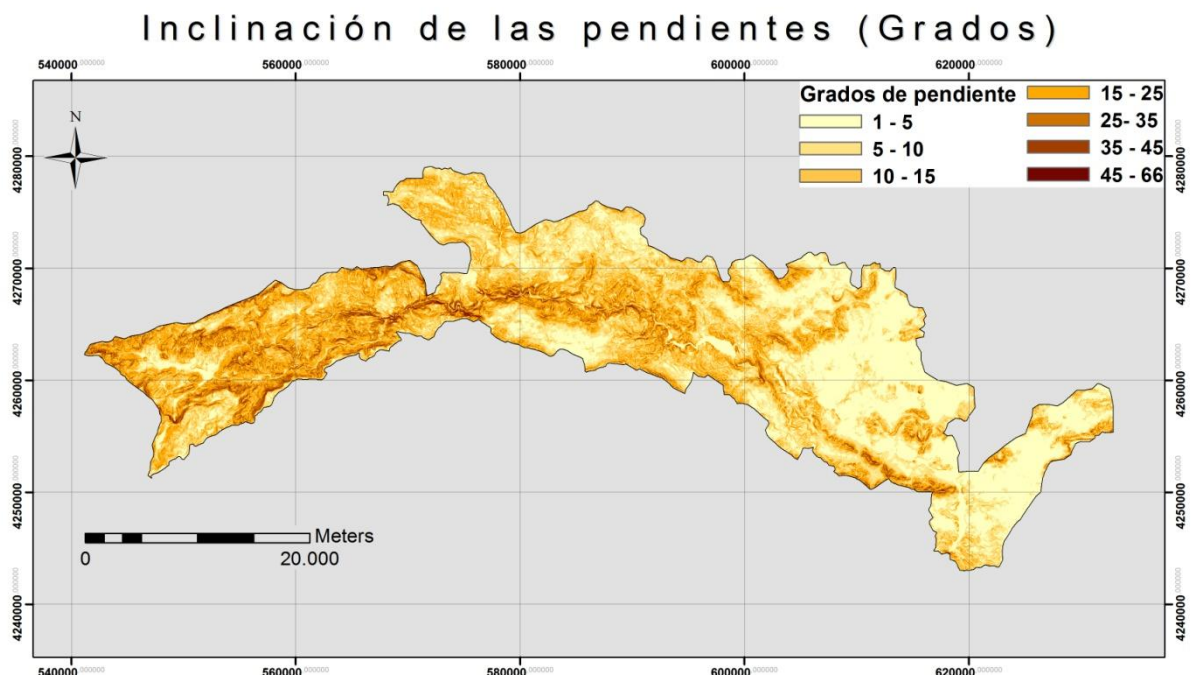


Figura 10: Mapa de inclinación de las pendientes en grados. Fuente: Elaboración propia

Una vez generada esta capa se ha multiplicado por 0,0174532925 para obtener otra capa donde la inclinación de las pendientes en radianes (figura 11), que es con la que trabajaremos dado que así lo requiere la USLE.

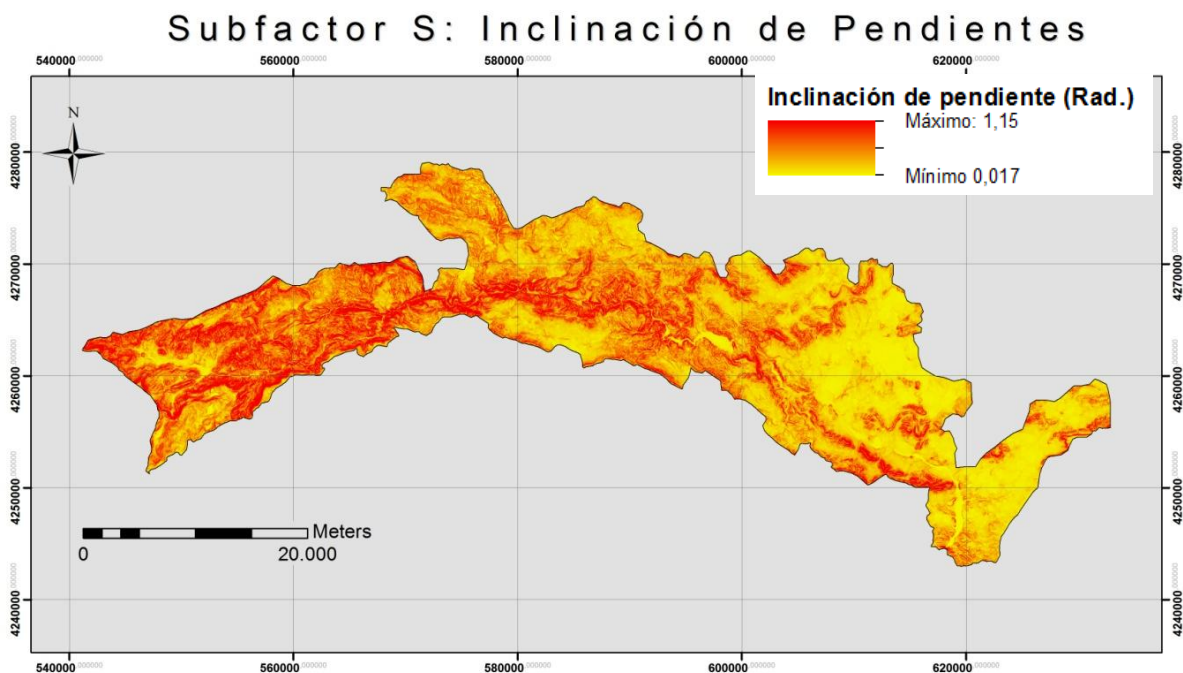


Figura 11: Mapa de inclinación de las pendientes (Subfactor S). Fuente: Elaboración propia

- Cálculo subfactor L:

Para el cálculo de las longitudes de pendientes se han usado algunas herramientas de la caja *Hidrology tools*.

Se ha generado una capa de direcciones de flujo (*flowdirection*) a partir del MDT corregido. A partir de las direcciones de flujo creamos una capa de acumulación de flujo (*flow accumulation*).

Para no sobreestimar los valores de longitud de pendiente (L) (que podrían dar resultados exagerados de erosión) vamos a restringir la longitud de pendiente a un límite de 150 metros (en nuestro caso 6 píxeles) de acuerdo con otros estudios como el de LEYTON N et al. (2007). Para ello realizamos una reclasificación de la capa raster que representa la acumulación de flujo: Se asigna valor 0 a todos los píxeles cuyo valor inicial fuese superior a 6 y asignamos valor 1 a todos aquellos cuyo valor inicial fuese inferior a 6.

Multiplico la capa booleana resultante por la capa inicial de acumulación de flujo con el fin de obtener una capa raster donde los valores de longitud de pendiente inferiores a 6 píxeles (150 metros) tengan valor 1 y los valores superiores a ese límite aparezcan representados por valor 0. Después genero otra capa booleana donde a los píxeles con valores de acumulación de flujo menores a 6 asignamos valor 0 y a los que tengan una acumulación de flujo mayor a 6 les asignamos valor 6 (el límite que hemos puesto).

Finalmente sumo las dos últimas capas resultantes y así obtenemos una capa con las distintas longitudes de pendientes y el límite de 150 metros.

Una vez hecho esto vamos a aplicar la fórmula de Moore & Burch (1986) para el cálculo del factor LS con la calculadora raster:

$$LS = (\text{Flujo acumulado} * \text{Tamaño celda} / 22,13)^{0,4} * (\text{Seno de la pendiente en radianes} / 0,0896)^{1,3}$$

Así obtenemos la capa raster con los valores para el factor topográfico que utilizaremos en la USLE.

### Factor LS: Longitud e Inclinação de pendientes

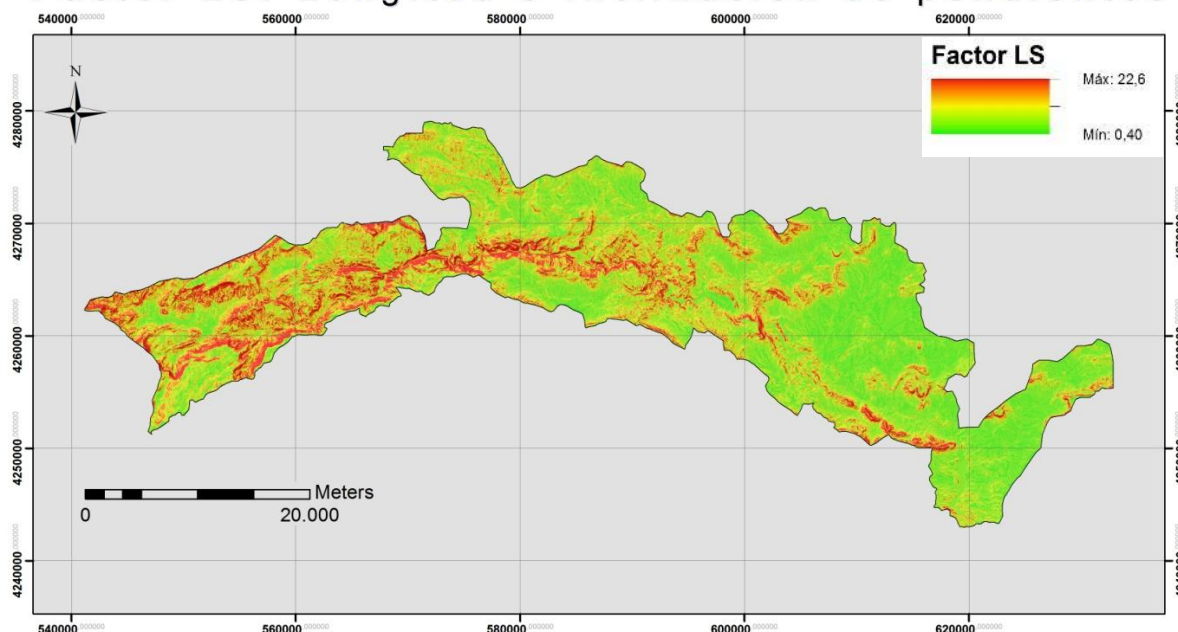


Figura 12: Mapa longitud e inclinación de pendientes (Factor LS). Fuente: Elaboración propia

## 2.4 Cálculo factor C: vegetación

Para la asignación de los distintos valores del factor vegetación se han utilizado diversas fuentes para que el resultado fuese lo más fehaciente posible.

Para la primera clasificación que se ha realizado de los usos del suelo en la cuenca se ha trabajado con el Corine Land Cover nivel 3 del año 2000 y del año 2006. Así se ha asignado el uso del suelo a cada zona de la cuenca.

Por otro lado se ha utilizado el mapa forestal a escala 1:50.000 para diferenciar la densidad de coberturas en las zonas clasificadas según el Corine como forestales.

Esto nos ha permitido asignar después los valores de c con mayor fidelidad.

Entre ambas capas (Corine y Mapa Forestal) se ha realizado un *Intersect*.

Después han sido reclasificadas en los usos del suelo finales y posteriormente se han asignado a cada clase los valores de *c* estimados siguiendo los valores utilizados en el mapa de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura publicado en 1988 por el ICONA.

Finalmente a partir de la capa de polígonos con los valores de *C* para cada uso del suelo se ha generado una capa raster que represente estos valores. Esta operación se ha realizado para cada uno de los años.

Los valores del factor *C* que se han asignado según tipo de cobertura han sido los siguientes:

Usos del suelo Corine Land Cover	% Cobertura	Factor <i>c</i>
Zonas industriales o comerciales		1,000
Zonas de extracción minera		1,000
Viñedos		0,525
Tierras de labor seco		0,435
Terrenos regados permanentemente		0,507
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural		0,435
Tejido urbano discontinuo		1,000
Tejido urbano continuo		1,000
Pastizales naturales		0,130
Olivares		0,525
Mosaico de cultivos		0,435
Matorrales esclerófilos		0,153
Matorral boscoso en transición		0,153
Lámina de agua		0,000
Frutales		0,525
Espacios con vegetación escasa		0,900
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes		0,435
Bosque mixto	Inferior al 2%	0,186
Bosque mixto	> 2% & <7%	0,086
Bosque mixto	Superior al 7%	0,041
Bosque de frondosas	Inferior al 2%	0,186
Bosque de frondosas	> 2% & <7%	0,086
Bosque de frondosas	Superior al 7%	0,041
Bosque de coníferas	Inferior al 2%	0,186
Bosque de coníferas	> 2% & <7%	0,086
Bosque de coníferas	Superior al 7%	0,041

Figura 13: Tabla de valores factor cobertura (factor *C*). Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura. ICONA (1988)

## Factor C : Vegetación

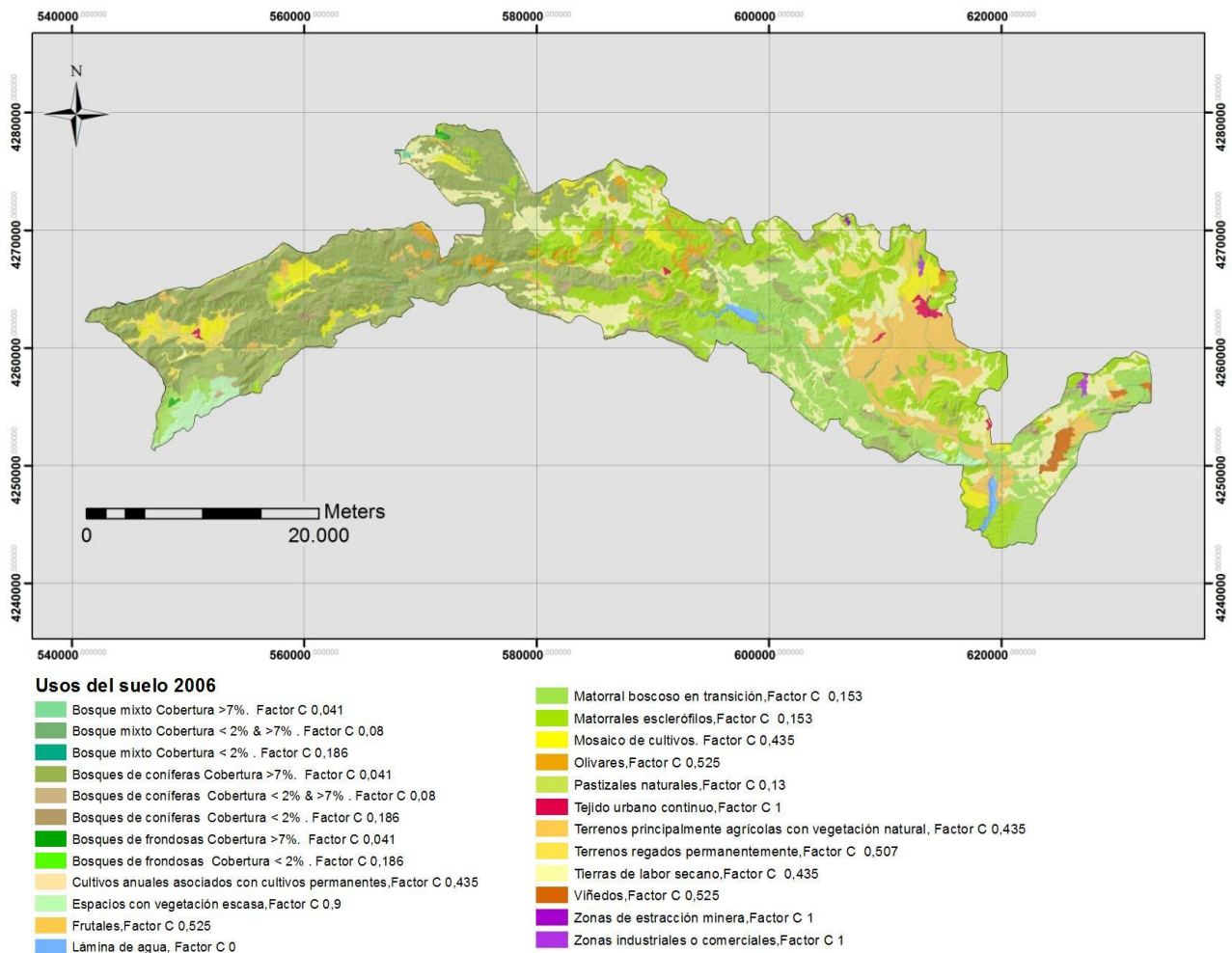


Figura 14: Mapa valores del Factor C según cobertura y uso del suelo. Fuente: Elaboración propia

### 2.5. Cálculo del Factor P:

Debido a que no se cuenta con información sobre las prácticas de conservación que se llevan a cabo en la zona de estudio, no se ha tenido en cuenta este factor en el cálculo de la USLE. Por ello se le ha aplicado un valor constante de 1 para todos los casos.

## 3. Cartografía de los estados erosivos de la cuenca.

### 3.1 Cartografía niveles de erosión

Una vez obtenidos los factores anteriores se ha procedido a implementar la USLE y a calcular así la erosión hídrica potencial (pronóstico de pérdida de material de un suelo como consecuencia de su topografía, la erodabilidad de los suelos y la erosividad de la lluvia. Para ello consideramos que el territorio no presenta cubierta vegetal que lo proteja.).A la hora de realizar la cartografía de los niveles de erosión de la cuenca se han generado seis intervalos según las pérdidas de suelo (T / ha al año) que se

corresponden a los siguientes niveles de erosión (extraídos del mapa de erosión hídrica de la CAPV realizado en el año 2005):

- \* Erosión muy débil: **De 0 a 5** (T \* ha \* año) correspondiente a zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables donde no hay erosión neta.
- \* Erosión débil: **De 5 a 10** (T \* ha \* año) correspondiente a zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
- \* Erosión leve: **De 10 a 25** (T \* ha \* año) correspondiente a zonas con procesos erosivos leves donde sí que existe erosión pero esta no se aprecia a simple vista.
- \* Erosión moderada: **De 25 a 50** (T \* ha \* año) correspondiente a zonas con procesos de erosión moderada. Existe erosión pero puede que no se aprecie a simple vista.
- \* Erosión grave: **De 50 a 100** (T \* ha \* año) se corresponde con zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y se aprecia a simple vista.
- \* Erosión muy grave: **De 100 a 200** (T \* ha \* año) en zonas donde los procesos erosivos son muy graves y la erosión también se aprecia a simple vista.

### **3.2. Cartografía y estudio de usos del suelo en las zonas potencialmente desfavorecidas.**

Se consideró que todas las zonas cuya erosión potencial esté por encima de las 25 toneladas por hectárea al año son zonas en las que debería de estudiarse muy bien qué tipo de uso del suelo se debe implantar ya que en gran medida de este dependerá su erosión real. Por ello se realizó una reclasificación del mapa de erosión potencial y se generó una capa de polígonos con las zonas potencialmente desfavorecidas (erosión potencial > 25t/ha\*año). Una vez hecho esto se realizó un *Clip* a la capa usos 2000 y otro con la capa usos 2006. Se calculan las áreas de los polígonos y se obtiene mediante un *Summarize* una tabla que muestre el número de hectáreas ocupadas por cada uso para cada año.

Se procedió de la misma manera para los años 2000 y 2006.

### **3.3. Cambios producidos en la erosión real de la zona entre los años 2000 y 2006**

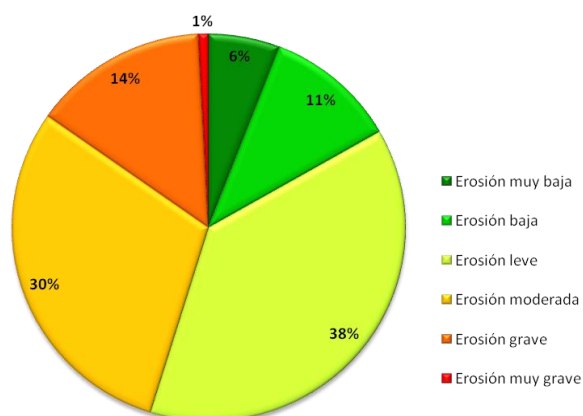
Nos solo se cartografiaron los resultados sino que se realiza un estudio comparativo para ver qué zonas han incrementado o disminuido en pérdida de materiales debido a la erosión hídrica y como ha influido el cambio de usos del suelo (si es que lo ha habido) en las tasas de erosión. Para ello se hizo una resta entre las capas raster de erosión del año 2000 y la del 2006 con la calculadora raster. Después se reclasificó la capa resultante de esta resta para poder cartografiar los cambios. Así a los píxeles cuyo valor sea 0 (donde el riesgo de erosión no ha variado se los representó en color negro. Los píxeles cuya erosión haya aumentado (valor negativo) se representaron en rojo y en los que disminuyó el riesgo de erosión aparecen en verde.

## VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 1. Erosión hídrica potencial en la cuenca del río Mundo.

Si observamos el mapa de los niveles de erosión potencial (figura 15) detectamos que gran parte de la cuenca presenta riesgo potencial de erosión. Esto es debido sobre todo a sus escarpadas pendientes y a los suelos poco evolucionados existentes en la zona.

El porcentaje de superficie que podría verse afectada según el nivel de erosión es el siguiente (figura 15). Es importante destacar que casi la mitad de la cuenca (el 45% de la superficie) está potencialmente expuesta a una erosión hídrica importante (de moderada a muy grave). Mientras que solamente el



17% de la superficie no corre ningún riesgo de erosión.

Figura 15: Gráfico porcentaje de niveles erosivos según erosión potencial. Elaboración propia

Como era de esperar los territorios localizados en la parte más alta de la cuenca son los más afectados ya que es en esta zona donde las precipitaciones son mayores al igual que las pendientes. Por el contrario son las zonas bajas de la llanura próximas a Hellín las que presentan una erosión potencial más baja. La zona media de la cuenca aunque presenta pendientes más bajas que la cabecera presenta un tipo de suelo más sensible a la erosión, por lo que también se ve en gran medida afectada.

Cabe destacar la importancia que tiene la presencia de altos niveles de erosión cerca de los embalses, ya que esta de corresponderse con la erosión real podría afectarlos negativamente debido al aporte de sedimentos. Por lo que se trata de zonas excesivamente sensibles a la erosión.

Algunos informes (PRODESNOS, 2011 y Morgan R.P.C., 2006) estiman que la tasa máxima permisible cuando hablamos de erosión del suelo sería 10 t/ha y año. Ya que se calcula que esta es la velocidad a la que el suelo se genera, por lo que todo territorio cuyas pérdidas de suelo no superen las 10 t/ha al año no presentará pérdidas netas debido a la erosión. Como vemos en el gráfico, sobre la zona de estudio en más del 60% de la superficie la erosión potencial superaría esta tasa, aunque más adelante veremos que gracias a la protección que supone la cobertura del suelo no nos enfrentamos a un escenario tan drástico.



# NIVELES DE EROSIÓN POTENCIAL

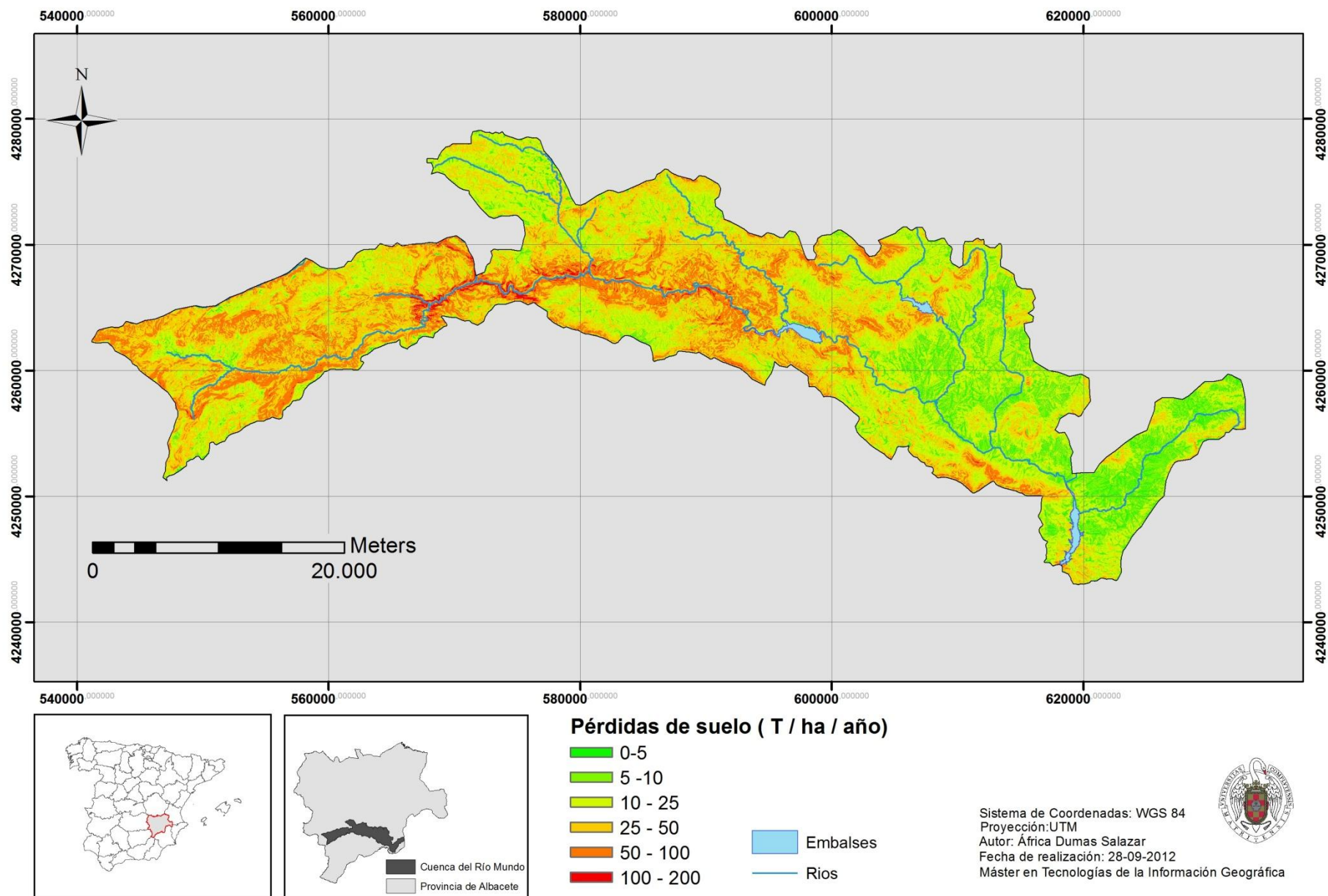


Figura 16: Mapa Niveles de erosión potencial Cuenca del río Mundo. Fuente: Elaboración propia.



Aún así consideramos de vital importancia hacer un estudio sobre los usos del suelo implantados en las zonas potencialmente más desfavorecidas por la erosión para observar cómo afectan las distintas coberturas y poder regular posibles futuros cambios en los usos del territorio.

Teniendo en cuenta estos datos, en este estudio hemos considerado que todo territorio que esté expuesto a una erosión potencial mayor a 25 toneladas / ha al año debería de considerarse como zona potencialmente desfavorecida, ya que los usos del suelo existentes determinarán básicamente que se vea poco o muy afectada por la erosión.

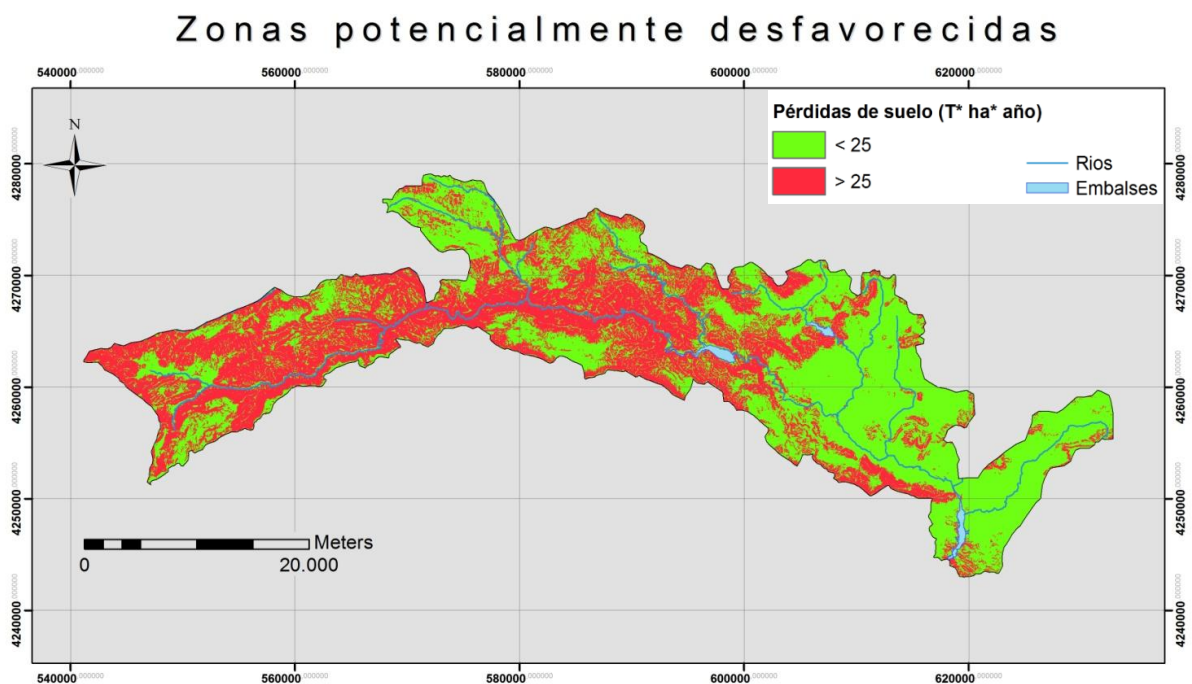


Figura 17: Mapa zonas potencialmente desfavorecidas frente a la erosión. Fuente: Elaboración propia.

Se han contabilizado que 45.700 hectáreas pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Mundo se encuentran en esta situación.

Vamos a observar que uso del suelo se hace de estas zonas en los dos años comparados en este estudio (2000 y 2006), para ello podemos comparar las columnas de la siguiente tabla (figura 18) , donde se muestra el número de hectáreas que ocupa cada uno ordenado de menor a mayor.

Cómo podemos ver en la tabla los usos del suelo que están más presentes en estas zonas son los bosques de coníferas y los matorrales esclerófilos, que se extienden por las laderas y los valles de las sierras de la cabecera de la cuenca. Estos dos usos aportan gran protección al terreno que recubren, por lo que cabe esperar que la erosión real sea mucho menor que la potencial para casi todas estas áreas que cuentan con grandes pendientes.

Uso del suelo sobre zonas potencialmente desfavorecidas año 2000	Nº Hectáreas año 2000	Nº Hectáreas año 2006
Bosque mixto cobertura < 2%	0,03	0
Bosque mixto cobertura >2% & <7%	0,09	0,09
Zonas de extracción minera	0,43	0,43
Viñedos	1,08	1,08
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	1,95	1,95
Zonas industriales o comerciales	4,69	4,85
Bosques de frondosas cobertura < 2%	6,23	6,23
Bosque mixto cobertura >7%	11,12	11,12
Tejido urbano continuo	34,24	34,24
Bosques de frondosas cobertura >7%	74,36	74,36
Lámina de agua	111,49	111,45
Frutales	319,57	320,89
Pastizales naturales	410,76	442,04
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	495,86	495,86
Bosques de coníferas cobertura < 2%	667,67	665,20
Espacios con vegetación escasa	743,84	743,81
Olivares	870,46	1089,10
Bosques de coníferas cobertura >2% & <7%	894,41	894,41
Mosaico de cultivos	989,47	989,47
Zonas quemadas	1013,26	0
Terrenos regados permanentemente	1328,69	1328,69
Tierras de labor seco	2341,98	2122,07
Matorral boscoso en transición	4259,20	5271,52
Matorrales esclerófilos	10230,03	10229,77
Bosques de coníferas cobertura >7%	20875,67	20844,39

Figura 18: Usos del suelo sobre zonas potencialmente desfavorecidas años 2000 y 2006. Fuente: Elaboración propia.

Destacan también por su extensión los cultivos de secano y de regadío localizados en zonas más llanas. Este uso tiene un efecto menos protector que los anteriores frente a la erosión, además su efectividad defensora dependerá en gran parte del tipo de manejo de la tierra y de las especies vegetales que se cultiven.

Aunque la mayor parte de los usos del suelo no se han visto modificados entre ambas fechas existen cuatro usos que han visto disminuir su extensión:

El primero que llama la atención, ya que es el único cambio drástico que se ha producido es la cantidad de superficie quemada. En el año 2000 aparecen más de 1000 hectáreas quemadas mientras que en 2006 estas zonas aparecen con algo de cubierta vegetal.

Los bosques de coníferas y los cultivos de secano también han disminuido su extensión, siendo este último el uso que mayor cambio presenta (casi 300 hectáreas menos en 2006).

También encontramos usos que han incrementado su número de hectáreas como son: Las zonas industriales y comerciales, los olivares, los pastizales naturales y el matorral. Más adelante veremos cómo han afectado estos leves pero no despreciables cambios en la erosión hídrica real.

## 2. Erosión hídrica real en la cuenca del río Mundo año 2000.

El mapa de niveles de erosión del año 2000 (figura 20) vemos que presenta diferencias muy notables respecto al mapa de erosión potencial: La erosión real para este año es mucho menor en toda la cuenca. Lo que corrobora que la cobertura vegetal realiza un papel fundamental como protector frente a la erosión.

En este caso solo poco más del 0,5 % de la superficie de la cuenca presenta una erosión grave ( por encima de las 50 t/ha al año). Y únicamente el 3% del territorio presenta una erosión que según nuestro estudio se debería controlar ( > 25 t/ha al año). Prácticamente el 87% de la superficie

está libre de erosión. Cabe destacar que casi todas las zonas que en el año 2000 presentan algún grado de erosión pertenecerían a las áreas que anteriormente denominamos zonas potencialmente desfavorecidas.

En el mapa (figura 20 ) observamos que las zonas de la parte alta de la cuenca que presentaban altos niveles de erosión potencial al estar destinados a uso forestal (en su mayoría bosques de coníferas y matorral ) la erosión real no es muy significativa.

Destacan dos manchas grandes que presentan altos valores de erosión localizadas una al sur del embalse del Talave y la otra al noroeste del embalse del Boquerón , se trata de zonas que en el año 2000 se encuentran quemadas , sin apenas vegetación y altamente sensibles a la erosión hídrica.

Observamos otras dos grandes zonas que también presentan niveles inquietantes:

La primera se encuentra en la zona sur de la cabecera de la cuenca y queda dentro del espacio protegido del Parque Natural de los Calares del Río Mundo y de la Sima. Se trata de una zona que a pesar de estar protegida presenta una vegetación muy escasa, lo que hace que se vea expuesta a graves procesos de erosión.

La segunda localizada al noroeste del embalse de las Camarillas es una zona de altas pendientes cuya vegetación a pesar de poseer buena cobertura no contrarresta la intensidad de la erosión.

En la zona media de la cuenca aparecen áreas en tonos amarillo verdoso e incluso anaranjados. Como ya hemos dicho con anterioridad los suelos de esta zona, mucho más sensibles unidos a las medianas pendientes y a los cultivos de regadío o secano hacen que aparezcan niveles erosivos que no son graves pero tampoco despreciables. Es remarcable que en la cabecera de los tres embalses encontramos zonas con niveles erosivos altos en comparación con el resto de la cuenca. Por lo que sería conveniente realizar algún estudio para ver cómo afecta la erosión en el aporte de material a estos embalses y si esa cantidad de sedimentos podría producir aterramientos.

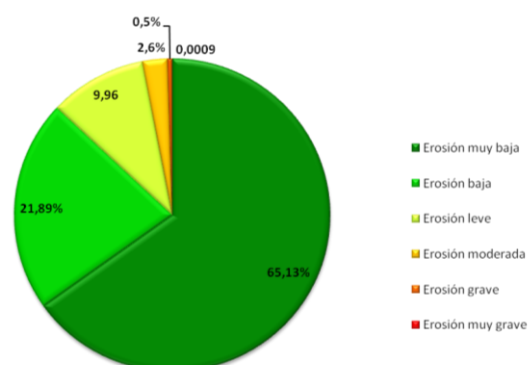


Figura 19: Gráfico superficie según estados erosivos año 2000. Fuente: Elaboración propia.

# NIVELES DE EROSIÓN AÑO 2000

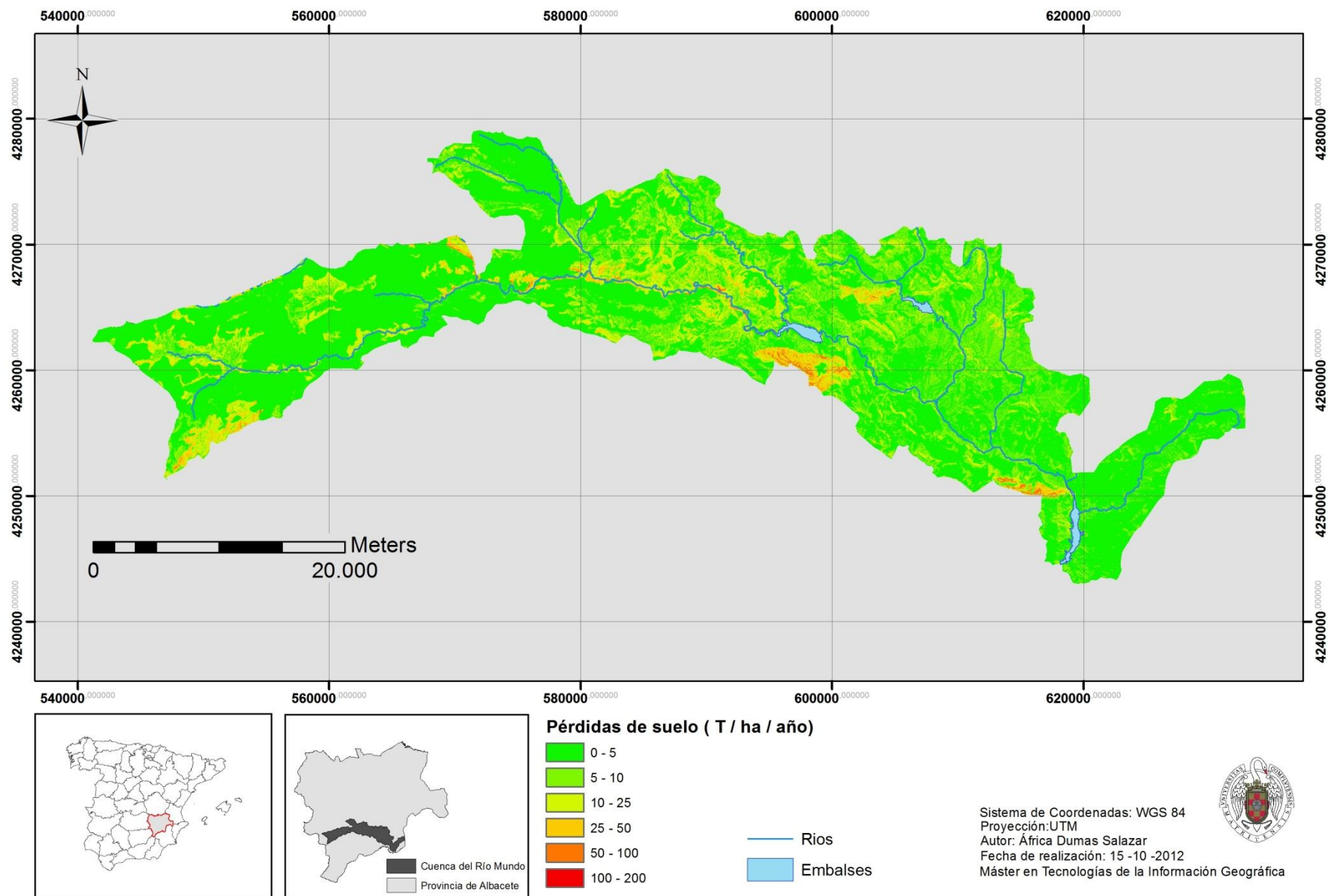


Figura 20: mapa de estados erosivos año 2000 Cuenca del río Mundo. Fuente: Elaboración propia.

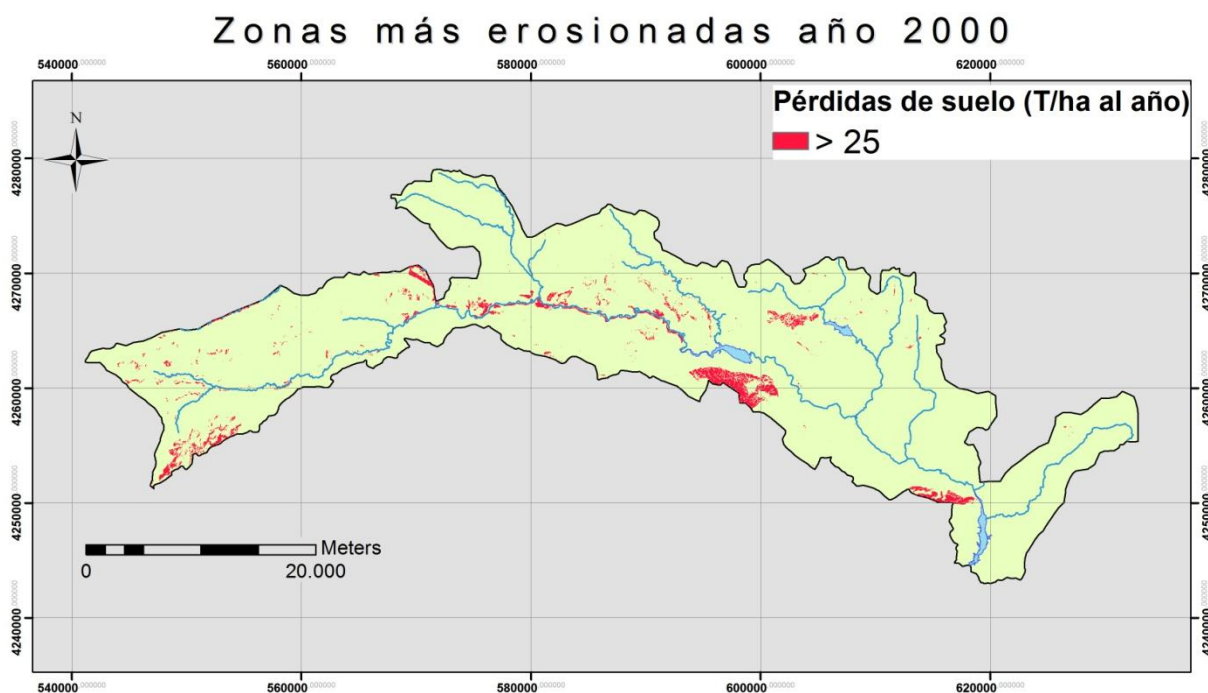


Figura 21: mapa de zonas más erosionadas año 2000. Fuente: Elaboración propia.

Se ha calculado que existen 3.044 hectáreas que presentan una pérdida del suelo mayor a 25 toneladas por hectárea y año en el año 2000. Dado que estas zonas presentan una elevada tasa de erosión, hemos considerado conveniente observar que tipo de usos del suelo se encuentran implantados sobre ellas, el resultado se puede ver en el siguiente gráfico donde aparecen los distintos usos del suelo expresados como porcentaje de la superficie total de la cuenca que se ve muy afectada.

Vemos que los usos predominantes en estas zonas se corresponden a los que menor protección ofrecen frente a la erosión, como son las zonas quemadas, los espacios con escasa vegetación y los cultivos de regadío.

Cabe destacar que el 15% de esta superficie se encuentra destinada al cultivo olivarero. Como vemos en estas zonas la erosión podría ser más leve si el uso predominante ayudase a paliar el problema.

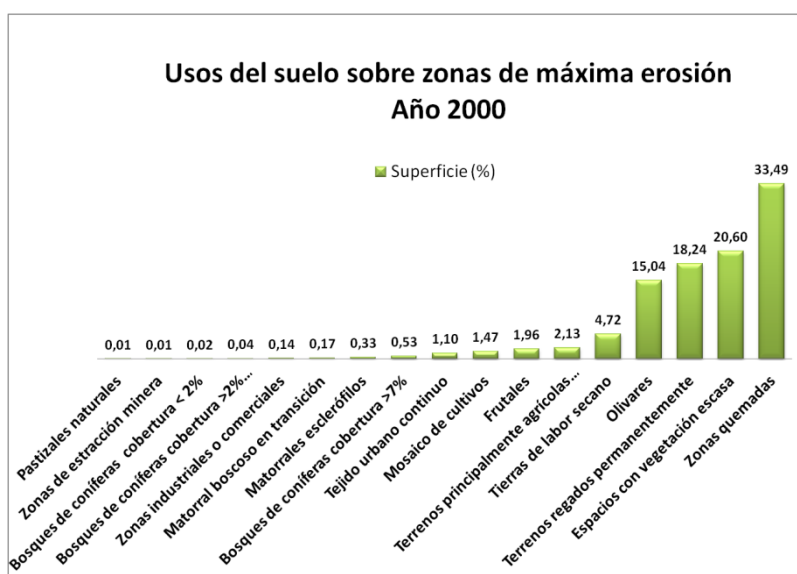


Figura 22: Gráfico usos del suelo sobre zonas más erosionadas año 2000 . Fuente: Elaboración propia.

### 3. Erosión hídrica real en la cuenca del río Mundo año 2006.

Si nos fijamos en el mapa de niveles de erosión realizado para el año 2006 (figura 23), observamos que al igual que ocurría con el del año 2000 los resultados son mucho menores que los obtenidos en el cálculo de la erosión potencial.

Sin embargo a simple vista es muy semejante al mapa de erosión del año 2000.

Las diferencias que puedan darse en los mapas de erosión generados para los años 2000 y 2006 van a ir sujetos a los cambios de uso de suelo o de cobertura vegetal que hayan tenido lugar en la cuenca.

Como ya vimos anteriormente los usos del suelo prácticamente no han variado durante esos seis años, lo que hace que hayamos obtenido resultados muy similares en ambos casos.

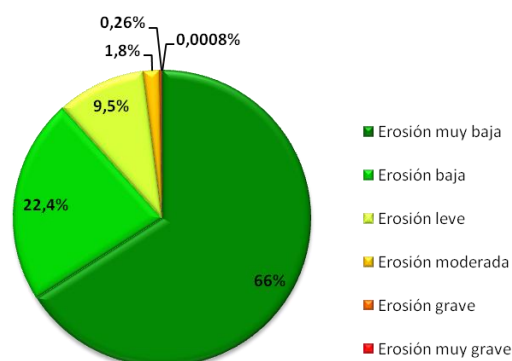


Figura 23: Gráfico niveles erosivos año 2000. Fuente: Elaboración propia.

Aún así si observamos el gráfico de niveles erosivos para este año (figura 23) en este caso la superficie afectada por erosión ha disminuido, aunque no de forma drástica. Esta vez encontramos que casi el 90 % de la superficie está libre de erosión. Mientras que solamente un 0,3 % de la superficie presenta erosión grave (por encima de las 50 t/ha y año) y aproximadamente un 2 % de la superficie total si nos referimos a las zonas que hemos determinado como más erosionadas (>25 t/ha y año).

Cabe destacar que han desaparecido las dos grandes manchas correspondientes a zonas quemadas que aparecían en el mapa de erosión hídrica del año 2000.

Sin embargo seguimos observando que las zonas que presentaban una cobertura de escasa vegetación: una situada al sur de la cabecera de la cuenca dentro del parque y la zona noroeste del embalse de las Camarillas siguen presentando altos niveles de erosión al igual que las zonas más próximas al cauce del río en la zona media de la cuenca.

También en este caso se ha calculado y cartografiado (figura 24) la superficie que abarcan las zonas que presentan una pérdida de suelo por erosión hídrica mayor a 25 t/ha y año, observamos que es 2.060 hectáreas. Cifra bastante menor que la del año 2000.



# NIVELES DE EROSIÓN AÑO 2006

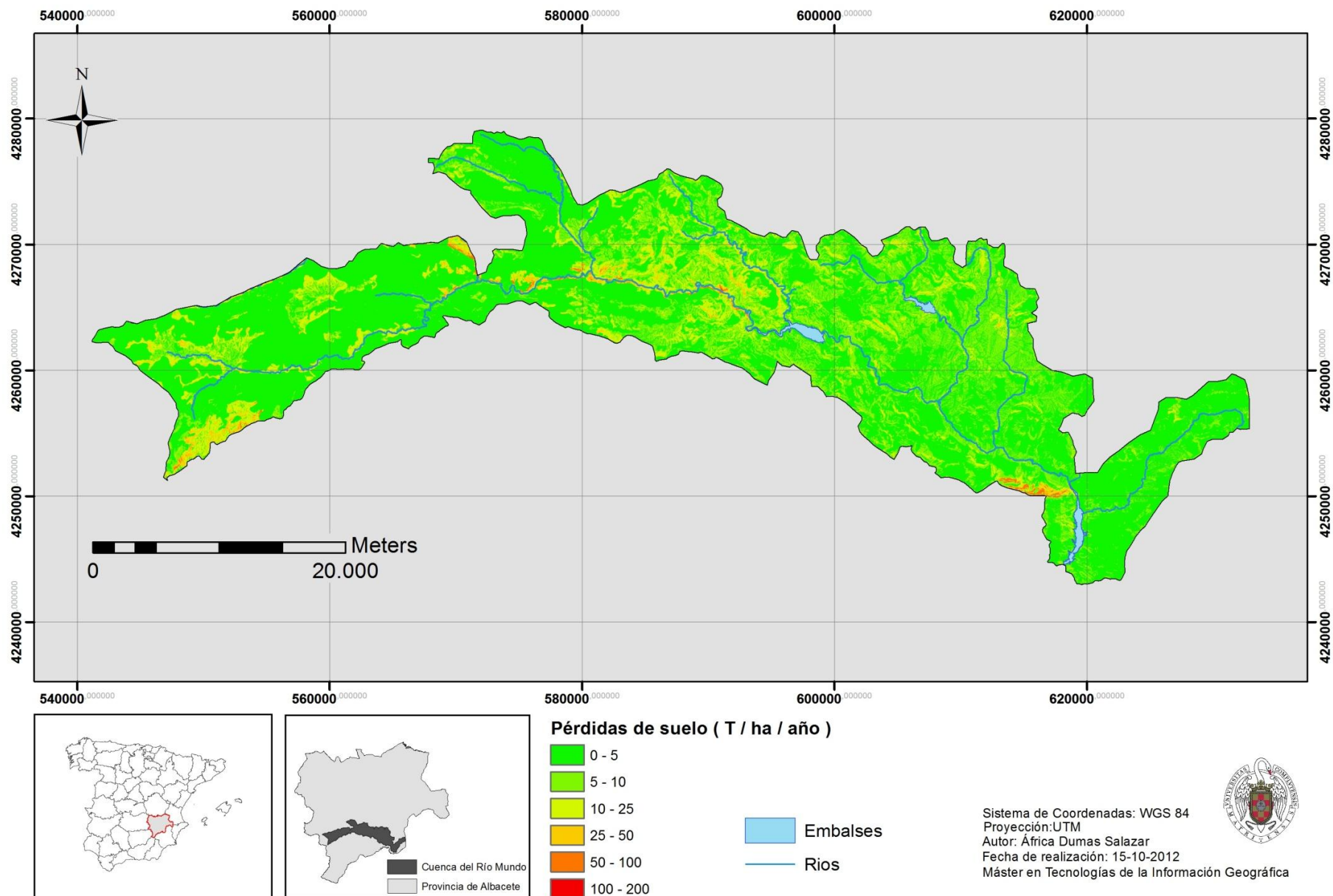


Figura 24: Mapa de estados erosivos año 2006 Cuenca del río Mundo. Fuente: Elaboración propia.

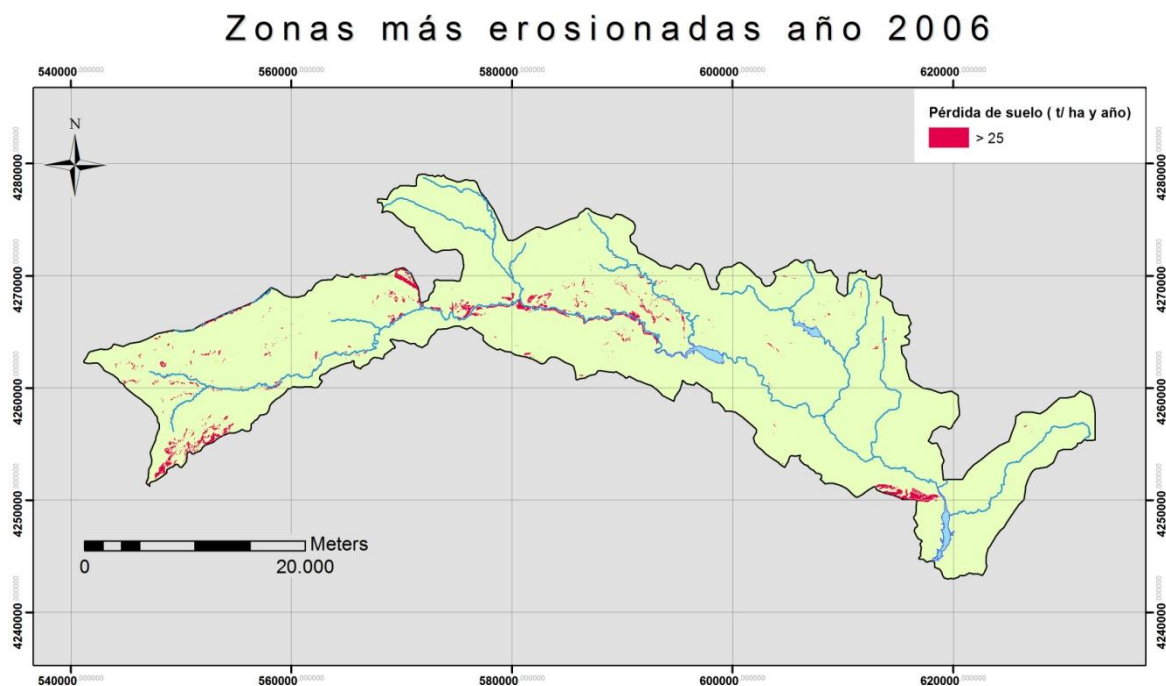


Figura 25: Mapa zonas más erosionadas año 2006. Fuente: Elaboración propia.

Consideramos que es de vital importancia cartografiar estas zonas ya que son zonas sobre las que se tendría que tener suma precaución a la hora de implantar cualquier tipo de uso de suelo.

En el siguiente gráfico aparece representado el porcentaje de superficie ocupada según uso del suelo existente en el año 2006 en estas zonas donde la erosión es más severa. Observamos que el 31 % de las zonas más erosionadas se encuentra recubierto por

vegetación escasa.

El regadío también ocupa gran parte de estas zonas (27%) junto con los olivares (24%).

Como ocurría en el año 2000 la zonas donde se está produciendo una mayor erosión del suelo poseen una vegetación que no ayuda a protegerlas.

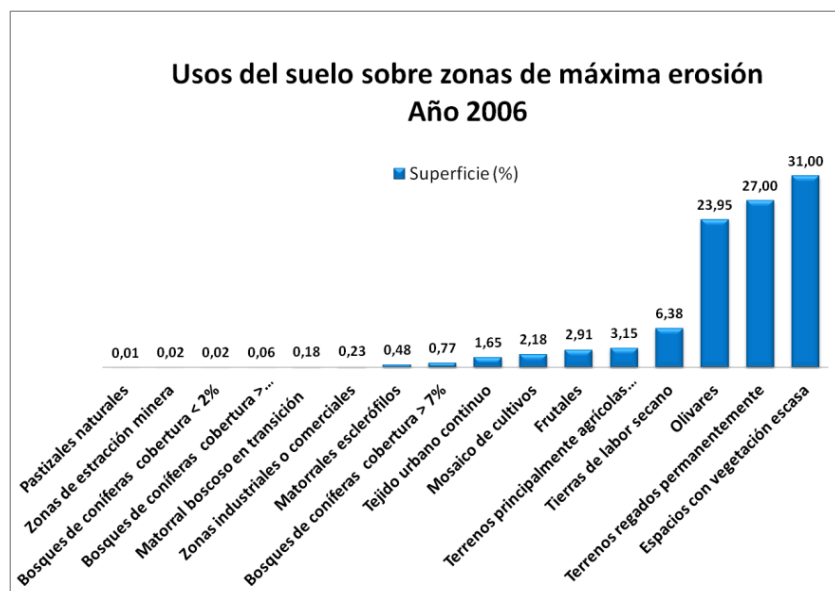


Figura 26: Gráfico usos del suelo sobre zonas más erosionadas año 2006. Fuente: Elaboración propia.



#### 4. Comparación de la erosión hídrica real (2000- 2006) y potencial.

Si intentamos comparar a simple vista los mapas de erosión resultantes para el año 2000 y 2006 encontramos dificultad ya que las diferencias que se han producido son muy pequeñas. Para que esta labor sea de mayor facilidad hemos cartografiado estos cambios (figura 28) Así podremos apreciar que zonas han visto incrementada su tasa de erosión y cuales sin embargo presentan menor erosión en el año 2006.

También veremos las diferencias existentes entre la erosión potencial y la erosión real en cada uno de los dos años estudiados.

Como muestra el mapa de diferencias (figura 28) la mayor parte de la cuenca no ha sufrido cambios. Las zonas representadas en color verde azulado han visto disminuida su erosión. Sin duda se trata de las zonas quemadas que en el año 2000 se encontraban desprovistas de vegetación alguna y con presencia de cenizas. Vemos que seis años después se encuentran bastante recuperadas lo que hace que esas zonas de especial sensibilidad con tasas muy altas de erosión hayan disminuido cuantiosamente. En rojo se han cartografiado las zonas que han visto incrementada su erosión debido a que en ellas se ha producido un cambio en el uso del suelo.

Estas zonas son muy difíciles de apreciar si se intenta comparar los mapas de erosión real realizados para cada uno de los dos años de estudio, ya que aunque en ellas haya aumentado la tasa de erosión, estas no han cambiado de nivel erosivo (siguen dentro del mismo rango de clasificación).

Esto nos indica que aunque en 2006 estas zonas se han visto sometidas a una mayor erosión no se realizaron cambios de uso que hayan influido drásticamente en la sensibilidad del suelo.

A partir de la capa de cambios generada se ha obtenido la siguiente tabla (figura 27) donde podemos observar el número de hectáreas que han visto modificada su tasa de erosión entre los años 2000 y 2006 así como el porcentaje de superficie que suponen respecto al total del territorio que abarca la cuenca.

<b>Evolución de la erosión 2000-2006</b>	<b>Nº Hectáreas</b>	<b>% Superficie de la cuenca</b>
Sin cambios	98460,25	97,68
Disminución	1608,4375	1,60
Aumento	732,5625	0,73

Figura 27: Tabla cambios superficie erosión hídrica años 2000 y 2006. Fuente: Elaboración propia.

Centrándonos en las zonas cuya erosión es superior a 25 t /ha y año vemos que para el año 2006 se ha reducido la superficie en casi 1000 hectáreas dentro de esta franja. A continuación se presenta un gráfico que recoge los cambios que han acontecido en los usos del suelo más representativos asentados en estas zonas (figura 29).

# Evolución de la erosión hídrica 2000 - 2006

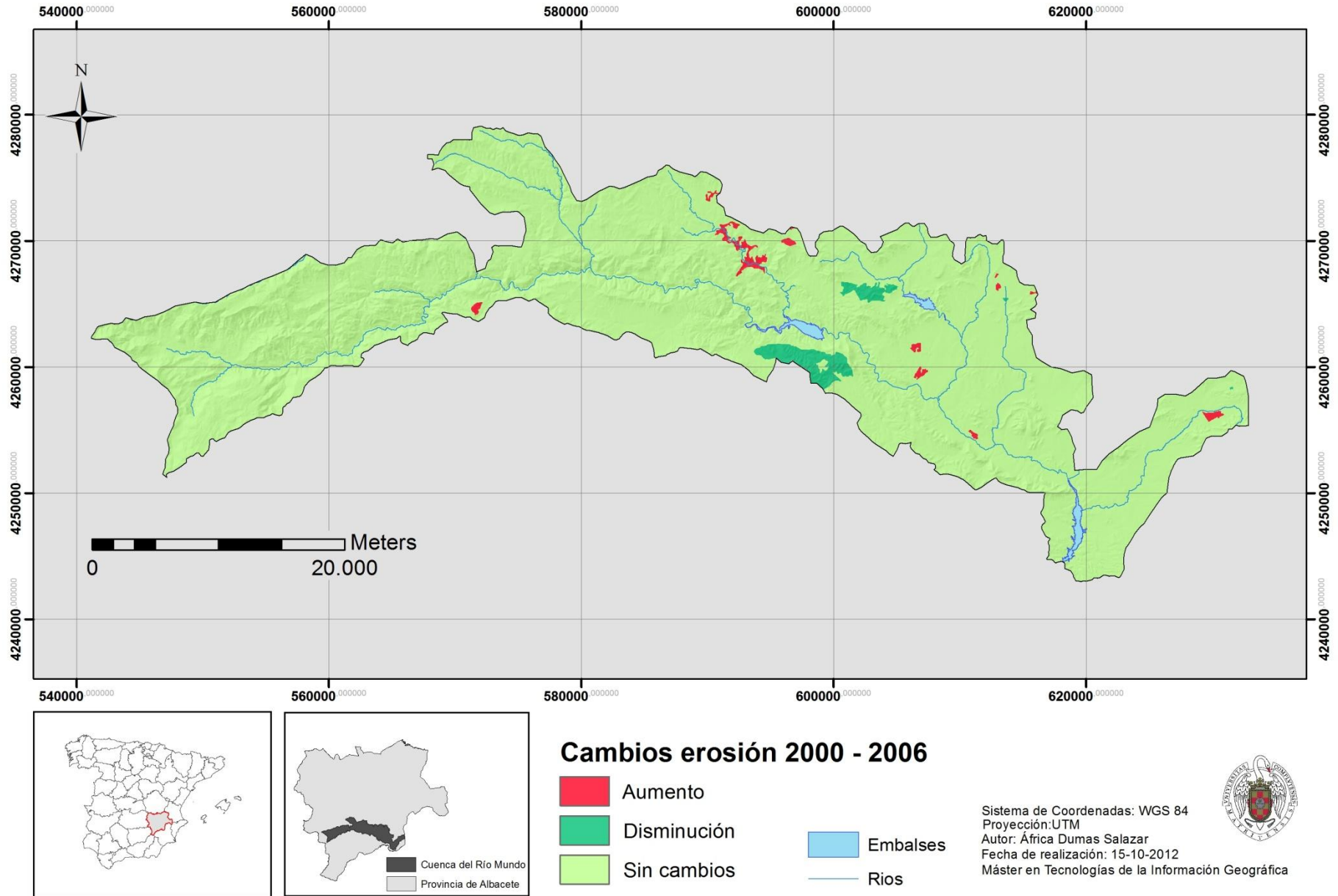


Figura 28: Mapa de cambios en la erosión hídrica entre 2000 y 2006. Fuente: Elaboración propia

Lo primero que queda reflejado como ya hemos reiterado, es que en el año 2006 no existen zonas quemadas, siendo esta la “cobertura” mayoritaria en la que se producía la erosión problemática en el 2000. Quitando esta excepción el resto de coberturas que recubren las zonas más perjudicadas por erosión siguen siendo las mismas aunque existan variaciones en el porcentaje de superficie que ocupan. Destacan el incremento de los olivares y del regadío que en el año 2006 se encuentran mucho más extendidos, así como las zonas con vegetación escasa. Cabe destacar que no encontramos prácticamente

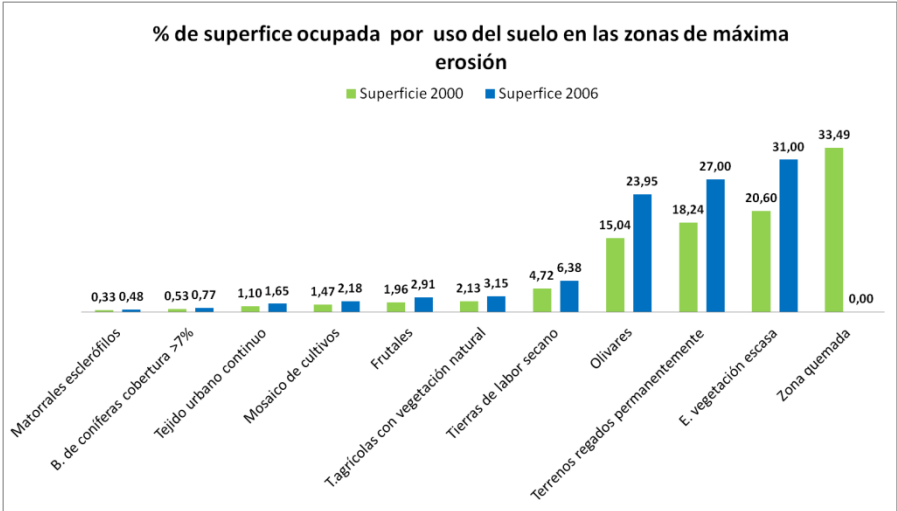


Figura 29: Gráfico de cambios de los principales usos del suelo en las zonas más erosionadas

superficie donde la tasa de erosión sea superior a 25 t/ha y año que se encuentre recubierta por bosques. Lo que indica que los bosques frenan la erosión hídrica incluso en zonas donde la erosión potencial sería muy fuerte.

Finalmente presentamos un gráfico que resume las diferencias existentes entre la de erosión potencial y la erosión real en términos de superficie afectada atendiendo a los distintos niveles erosivos:

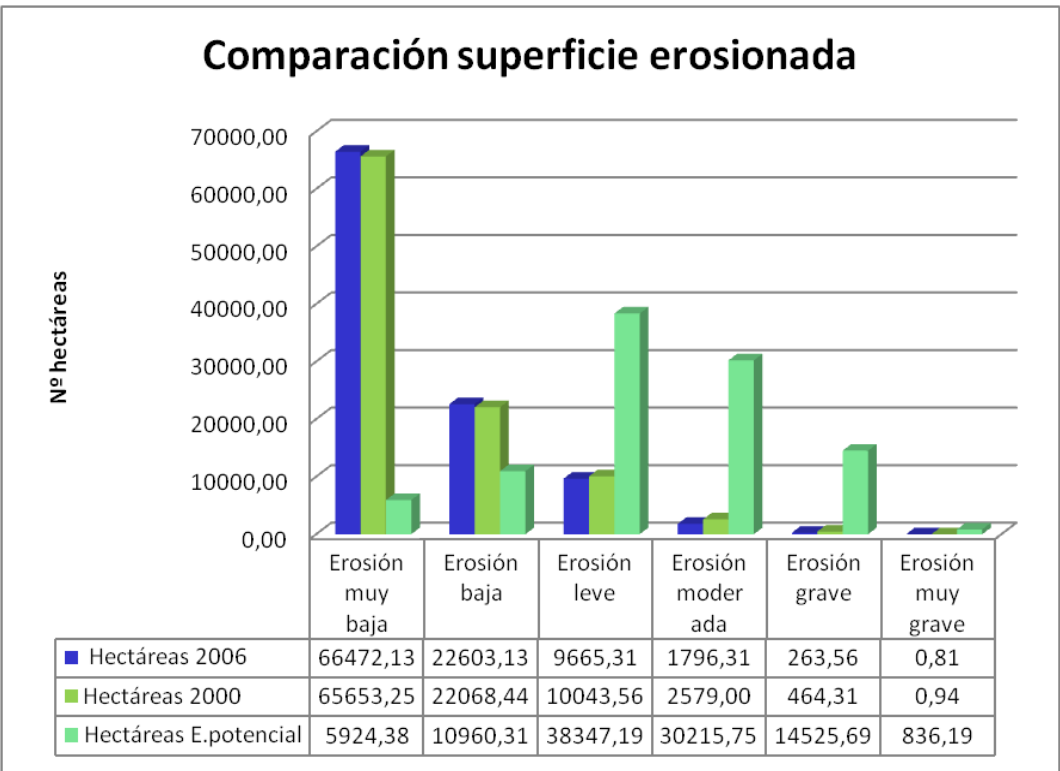


Figura 30: Gráfico diferencias erosión 2000, 2006 y potencial por niveles erosivos

## CONCLUSIONES

---

A pesar de que la USLE se contemple como un método sencillo a la hora de calcular la tasa de erosión hídrica de un territorio hay que tener en cuenta que el modelo aquí expuesto podría generar datos más precisos si las fuentes con las que se alimenta el modelo fuesen más concretas. La escasa disponibilidad de datos y la ausencia de trabajo de campo no han permitido realizar un estudio de mayor detalle, que hubiese generado resultados más acordes con la realidad.

Lo mismo ocurre con la escala temporal a la que se ha trabajado, debido a la falta de información sobre los usos del suelo actuales no se ha podido analizar la evolución de la erosión desde el año 2006 hasta la actualidad (2012).

Aún así la implementación de la USLE en un SIG sobre un territorio de gran tamaño como es la cuenca hidrográfica del río Mundo, nos permite obtener de forma global una visión general sobre el proceso de erosión hídrica en la zona. Presentándose como un herramienta de gran utilidad para la ordenación territorial de esta cuenca, ya que aunque las tasas de erosión obtenidas no sean exactamente las reales sí que se detectan las zonas que son más sensibles y los usos del suelo que ayudan a controlar este riesgo.

A la vista de los resultados obtenidos la cuenca del río Mundo presenta un conjunto de características naturales que la configuran como una zona con alto riesgo potencial de erosión hídrica.

Tras analizar la erosión real de la zona para los años 2000 y 2006 vemos que gracias a la frondosa vegetación que recubre las áreas potencialmente más sensibles de la cuenca el riesgo de erosión hídrica se ve muy rebajado. Sin embargo existen zonas con vegetación escasa o donde predominan los cultivos de regadío que presentan tasas de erosión hídrica nada despreciables muy por encima de la pérdida tolerable del suelo (10/t al año).

Cabe señalar que estas superficies que revelan riesgo de erosión considerable (superior a 25 t/ ha y año) no representan ninguno de los años más de un 3% del territorio total de la cuenca, por lo que son áreas muy restringidas. Además esta superficie se vio disminuida en 2006 con la recuperación de las zonas quemadas.

Aunque estas zonas supongan una superficie limitada su localización sí que es relevante, ya que se sitúan cerca de la cabecera de embalses, del cauce del río o dentro del Parque Natural de los Calares del río Mundo.

El aporte a los embalses de sedimentos procedentes del suelo producido por el desmantelamiento de materiales debido a la erosión hídrica puede suponer un grave

problema ya que podrían producir turbidez o contaminación del agua embalsada, disminución de la capacidad inicial e incluso aterramientos.

Por ello consideramos pertinente que se vigile la erosión hídrica en estas zonas y que se ponga en marcha alguna estrategia para controlar la erosión como puede ser en zonas donde la vegetación es escasa practicar reforestaciones con especies resistentes que aumenten la consolidación de los suelos y disminuyan el desprendimiento de materia.

También sería conveniente tener en cuenta la cartografía de erosión potencial de la cuenca a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de planificación territorial evitando implantar usos del suelo agresivos sobre los territorios más vulnerables, ya que estos lo único que producirían sería incrementar la erosión hídrica produciendo a la larga la improductividad de los suelos.

Consideramos que este tipo de estrategias en la cuenca podrían llevarse a cabo sin mayor problema ya que gran parte de los terrenos que presentan erosión no tolerable forman parte de zonas protegidas o terrenos sin vegetación que no tienen un uso productivo que lo impida.

La conservación del suelo aunque aparentemente pueda parecer un asunto baladí es de suma importancia para la economía y la sociedad que se asienta sobre ese terreno ya que de la calidad y productividad del mismo dependen numerosas actividades.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- ALATORRE, L.C. & Beguería, S. (2009): *"Los Modelos De Erosión: Una Revisión."* Cuaternario y Geomorfología, 23(1-2): 43-62.
- ALCARAZ ARIZA, F.J & SÁNCHEZ GÓMEZ,P (1988) :*"El paisaje vegetal de la provincia de Albacete"*. Al-Basit: Revista de estudios albacetenses, ISSN 0212-8632, Nº.24, pp. 9-44.
- ALMOROX, J.et al. (1994): *"Métodos de estimación de la erosión hídrica."* Editorial Agrícola Española, Madrid.
- BURCIAGA, O.et al. (2010): *"Propuesta de ordenamiento productivo para las regiones áridas y semiáridas del estado de Coahuila"*. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Publicación Especial Nº 15. México. ISBN: 978-607-425-471-6.
- CERDÀ, A. (2001): *"La erosión del suelo y sus tasas en España"*. Revista Ecosistemas Nº3.
- COLOTTI BIZZARRI, E. (1999): *"La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida"*.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA (Fecha de publicación desconocida) *"Definición de directrices para la realización de actuaciones de restauración ambiental en la cuenca hidrográfica del segura: Cuenca del rio Mundo."*
- FERRÁN CONILL, A (2007) *"Modelización de la erosión hídrica en los suelos. El enfoque de sistemas en las CTMA"*. Didáctica Ambiental S.L. ISSN: 1698-5893.
- FOURNIER, F. (1972): *"Soil Conservation"*. Nature and Environment Series Nº 5, Council of Europe, Strasbourg.
- GALLEGO, F.J et al. (2002):*"Determinación de riesgos de erosión en la comarca olivarera de Sierra Mágina (Jaén) mediante técnicas SIG y teledetección"*.
- GARCÍA RODRIGUEZ, J.L et al. (2010): *"Revisión histórica del factor topográfico, LS, de los modelos de erosión hídrica"* Aqua-LAC- Vol.2 – Nº 2-pp.56-61.
- GELLER ROFFE, T. et al.(2004)*"Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión de los suelos debido a los cambios en el uso de la tierra"* Mapping, ISSN 1131-9100, Nº 94, págs. 32-51.
- HIDALGO, J.C ET AL. (1995): *"Aproximación al efecto de parcela y pendiente en la producción de flujo superficial y sedimento de microparcels del bajo valle de Huerva"*. Cuaternario y Geomorfología, 9 (1-2) pág. 51-58. ISSN: 0214-1744.
- ICONA (1988): *Mapas de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura.. Madrid.*
- IDER Ingeniería y Desarrollo Rural, S.A. (2005): *"Mapa de erosión de suelos de la comunidad autónoma de Euskadi"*. Gobierno Vasco.
- KIRKBY et al. (1998).*"Summary report on provisional RDI erosion risk map for France"*. European Soil Bureau.
- KIRKBY et al.(2003) : *" Pan –European Soil erosion Risk Assessment : The Pesera Map.*

- LABAÑA SERRANO, F (1984): "Rasgos básicos de las precipitaciones anuales en la cuenca hidrográfica del río Mundo (Albacete)". Al-Basit: Revista de estudios albacetenses, pp.163 a 174.
- LAFLEN, J. M. et al. (2003): "Pioneering soil erosion prediction: the USLE story", World Association of Soil and Water Conservation Special Publication, nº 1.
- LEYTON N et al. (2007): "Evaluación de la pérdida de suelo y de su calidad, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva valle del Aconcagua, comunas de los Andes, Quillota y Concón". Trabajo de titulación.
- LINUS ANDERSSON (2007): "Soil Loss estimation Based on the USLE/GIS Approach Trough Small Catchments". A minor field study in Tunisia. Lund University. ISSN: 1101-9824.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. et al. (1988): "Cuenca hidrográfica del Segura: Mapa de estados erosivos escala 1:400.000" ICONA D.L. Madrid.
- LOREDO OSTI, C et al. (2007) : Riesgo de erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis de Potosí". Instituto nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. México.
- LOZANO GARCÍA, B et al. (2011): *Erosión real y potencial en suelos ácidos del sur de España*. Terra Latinoamericana. Vol.29, nº1. Pp.35-46. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo. México
- MANCILLA, G.A. (2008): "Apuntes docentes: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en el campo forestal". Facultad de ciencias forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile.
- MERRITT, W. S. et al. (2003): "A review of erosion and sediment transport models". Environmental Modeling & Software, 18, 761–799.
- MATA OLMO, R & SANZ HERRÁIZ, C. (2004): "Atlas de los paisajes de España". Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- MINTEGUI, J.A. et al. (1993): *La restauración hidrológico-forestal en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*. Junta Andalucía. 325 pp
- MITASOVA, H. et al. (1996): "Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS". International Journal of GIS 10, p.629-642.
- MOREIRA, J.M. (2009): "Aportaciones de de la teledetección y los SIG para la mejora de los modelos de evaluación de las pérdidas de suelo en Andalucía". Dirección General de Desarrollo Sostenible e Información Ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- MORGAN, R.P.C (1996): "Erosión y conservación del suelo". Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. ISBN: 84-7114-679-7.
- MUÑOZ MARÍN, C. (2008): "Análisis de la variabilidad en series hidrometeorológicas en una cuenca de la cabecera del río Segura: cuenca del río Mundo". Departamento de ingeniería técnica y fluidos. Universidad de Cartagena.

- NÚÑEZ CRESPI, S ET AL. (2007): "Procesos de degradación del suelo". *Grupo de Conservación y Recuperación de Suelos Contaminados*. CIEMAT.
  - PASCUAL AGUILAR, J.A et al. (2003) "Importancia de los estudios de erosión en la planificación del suelo. Veinte años de estudios en la Comunidad Valenciana" *Edafología*, Vol. 10 (3), pp. 227-234.
  - PÉREZ GALLARDO, S.J. (2001): "Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información geográfica". *Universidad Industrial de Santander*. Bogotá.
  - PIMENTEL, D (2006): "Soil erosion: a food and environmental threat". *Environment, Development and Sustainability* nº 8 (119-137).
  - PIMENTEL, D. et al. (1995): "Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits." *Science*. Vol. 267, 24. February 1995.
  - RENARD, K.G, Foster, G.R. et al. (1997): "Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)." US Department of Agriculture, Washington, DC, vol.703.
  - RODRÍGUEZ, M (2007): "Potencialidad de las técnicas SIG para la gestión medioambiental: aplicación al estudio de la erosión" *Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera*.
- RODRÍGUEZ, M.F (2004): "Sistemas de Información Geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz –España aplicando la metodología USLE". *Revista de Agronomía Tropical* Vol. 54(4): ISSN: 391-409.
- ROLDÁN SORIANO, M (2009): "Variaciones de los valores del factor topográfico (LS) aplicando RUSLE. Influencia del uso y del tipo del suelo en su cálculo". *5º Congreso Forestal Español*.
  - WALLING, D.E. & FANG, D. (2003). "Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers." *Global and Planetary Change*, 39, 111–126.
  - WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978): "Predicting rainfall erosion losses. A guide for conservation planning". U.S. Department of Agriculture.
  - YASSOGLOU et al. (1998): "Soil Erosion in Europe". European Soil Bureau.